



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“REDISEÑO DE UN CHASIS Y PUESTA A PUNTO DE UN  
VEHÍCULO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH”**

**ANDRES FRANCISCO NARANJO VARGAS**

**MILTON ALEJANDRO SANUNGA TENENUELA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Tipo: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2018**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

**2018-04-23**

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**ANDRES FRANCISCO NARANJO VARGAS**

---

Titulada:

**“REDISEÑO DE UN CHASIS Y PUESTA A PUNTO DE UN VEHÍCULO  
FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA  
ESPOCH”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Celin Padilla P.  
TUTOR

---

Ing. Luis Buenaño M.  
MIEMBRO

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

**2018-04-23**

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**MILTON ALEJANDRO SANUNGA TENENNUELA**

---

Titulada:

**“REDISEÑO DE UN CHASIS Y PUESTA A PUNTO DE UN VEHÍCULO  
FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA  
ESPOCH”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

---

Ing. Celin Padilla P.  
TUTOR

---

Ing. Luis Buenaño M.  
MIEMBRO

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** ANDRES FRANCISCO NARANJO VARGAS

**TÍTULO DE LA TESIS:** “REDISEÑO DE UN CHASIS Y PUESTA A PUNTO DE UN VEHÍCULO FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH”

**Fecha de Examinación:** 2018-08-02

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN                            | APRUEBA | NO<br>APRUEBA | FIRMA |
|--|---------|---------------|-------|
| Ing. Ángel Guamán M.<br>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA |         |               |       |
| Ing. Celin Padilla P.<br>TUTOR                   |         |               |       |
| Ing. Luis Buenaño M.<br>MIEMBRO                  |         |               |       |

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Guamán Mendoza  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** MILTON ALEJANDRO SANUNGA TENENUELA  
**REDISEÑO DE UN CHASIS Y PUESTA A PUNTO DE UN VEHÍCULO  
FÓRMULA SAE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA  
ESPOCH**

**Fecha de Examinación:** 2018-08-02

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN                           | APRUEBA | NO<br>APRUEBA | FIRMA |
|---|---------|---------------|-------|
| Ing. Ángel Guamán M<br>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA |         |               |       |
| Ing. Celin Padilla P.<br>TUTOR                  |         |               |       |
| Ing. Luis Buenaño M.<br>MIEMBRO                 |         |               |       |

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

\_\_\_\_\_  
Ing. Ángel Guamán Mendoza  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Andrés Francisco Naranjo Vargas

---

Milton Alejandro Sanunga Tenenuela

## **DEDICATORIA**

Este presente le dedico a Dios por haberme dado vida y fortaleza para derribar esos obstáculos presentados en mi vida, toda mi familia, a mis padres que me dieron la vida y siempre están a mi lado apoyándome, aconsejándome para poder cumplir este que no era solo mi objetivo y esfuerzo, sino también de toda mi familia.

**Andrés Francisco Naranjo Vargas**

Dedico este proyecto a Dios, a mis padres por ser quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presenta. A todos mis hermanos y hermanas, a aquellas personas especiales que están apoyándome y dándome fortaleza para continuar.

**Milton Alejandro Sanunga Tenenuela**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad. Para todos los docentes que nos han contribuido con sus conocimientos y sabiduría, en especial a nuestro director de tesis y asesor que supieron guiarnos de la mejor manera. A nuestros compañeros que nos acompañaron en el transcurso de esta etapa de la vida y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito esta meta planteada en nuestras vidas.

**Andrés Francisco Naranjo Vargas**

Deseo agradecer a Dios, por concedernos el don de la vida; A mis padres por todo el apoyo brindado hacia mi persona, gracias a todas las personas que con un consejo supieron darme ánimos para terminar esta etapa en mi vida como no agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ya que es una de las de mayor prestigio en el país, y a todo el personal Docente por habernos brindado toda la ayuda incondicional para el desarrollo de nuestra tesis para así obtener una profesión y ser útil a la sociedad.

**Milton Alejandro Sanunga Tenenuela**



## TABLA DE CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Generalidades  | 1         |
| 1.2 Antecedentes   | 1         |
| 1.3 Justificación  | 2         |
| 1.4 Objetivos  | 2         |
| 1.4.1 Objetivo general   | 2         |
| 1.4.2 Objetivos específicos  | 2         |
| <b>2. MARCO TEÓRICO</b>  | <b>4</b>  |
| 2.1 Vehículos Fórmula SAE  | 4         |
| 2.1.1 Chasis   | 4         |
| 2.2 Fórmula SAE  | 5         |
| 2.2.1 Reglamento de la Fórmula SAE                                   | 6         |
| 2.2.1.1 Requerimientos del chasis según la Fórmula SAE               | 6         |
| 2.2.1.2 Requerimientos del material                                  | 8         |
| 2.2.1.3 Requerimientos para el piloto                                | 9         |
| 2.3 Procesos de soldadura  | 16        |
| <i>Proceso de soldadura SMAW</i>                                     | 17        |
| <i>Proceso de soldadura GTAW</i>                                     | 17        |
| <i>Proceso de soldadura GMAW</i>                                     | 17        |
| 2.4 Sistemas asistidos por computadora                               | 21        |
| <b>CAPÍTULO III</b>  |           |
| <b>3. REDISEÑO DE CHASIS</b>   | <b>24</b> |
| 3.1 Verificación de las condiciones iniciales del chasis a rediseñar | 24        |
| 3.2 Modelación del chasis en software SolidWorks                     | 27        |

|                          |   |           |
|--------------------------|---|-----------|
| 3.3                      | Selección de materiales .....   | 29        |
| 3.4                      | Determinación de centros de masa .....                                  | 30        |
| 3.4.1                    | Batalla.....  | 30        |
| 3.4.2                    | Masas totales delanteras y posteriores.....                             | 31        |
| 3.4.2.1                  | Masa en el eje delantero .....  | 31        |
| 3.4.2.2                  | Masa en el eje posterior .....  | 31        |
| 3.4.2.3                  | Cálculo de transferencia de masas, en el momento de una frenada.. ..... | 32        |
| 3.4.2.4                  | Cálculo de fuerzas que actúan en una curva.....                         | 34        |
| 3.5                      | Simulación del chasis en software ANSYS.....                            | 36        |
| 3.5.1                    | Análisis estático.....  | 38        |
| 3.5.1.1                  | Análisis en la mampara delantera.....                                   | 38        |
| 3.5.1.2                  | Análisis en el arco frontal.:.....                                      | 40        |
| 3.5.1.3                  | Análisis en el arco principal.. .....                                   | 43        |
| 3.5.1.4                  | Análisis en la protección lateral.....                                  | 45        |
| 3.5.1.5                  | Análisis de la fuerza centrífuga. ....                                  | 48        |
| 3.5.2                    | Análisis dinámico.. .....   | 50        |
| 3.5.2.1                  | Análisis de impacto frontal.....  | 50        |
| <b>CAPITULO IV .....</b> |   | <b>53</b> |
| 4.                       | <b>CONSTRUCCION DE CHASIS .....</b>                                     | <b>53</b> |
| 4.1                      | Arcos de seguridad. ....  | 53        |
| 4.2                      | Mampara delantera.. .....   | 55        |
| 4.3                      | Soportes de apoyo para arcos principal y frontal.. .....                | 57        |
| 4.4                      | Proceso de pintado .....  | 59        |
| 4.5                      | Verificación de el buen funcionamiento del chasis.....                  | 60        |
| <b>CAPÍTULO V .....</b>  |   | <b>62</b> |
| 5.                       | <b>COSTOS .....</b>   | <b>62</b> |
| 5.1                      | Costos directos.....  | 62        |

|     |                        |    |
|-----|------------------------|----|
| 5.2 | Costos indirectos..... | 64 |
| 5.3 | Costos totales.....    | 64 |

**CAPÍTULO VI..... 65**

**6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 65**

**6.1 CONCLUSIONES ..... 65**

**6.2 RECOMENDACIONES ..... 67**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

**PLANOS**

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1-2:</b> Puntuación de la competencia .....                | 6  |
| <b>Tabla 2-2.</b> Espesores mínimos de miembros estructurales ..... | 8  |
| <b>Tabla 1-5</b> Lista de materiales y costos .....                 | 62 |
| <b>Tabla 2- 5</b> Lista de equipos a utilizar y costos .....        | 63 |
| <b>Tabla 3-5</b> Costo de mano de obra .....                        | 63 |
| <b>Tabla 4-5.</b> Costo de transporte de materiales .....           | 63 |
| <b>Tabla 5-5</b> Costos indirectos .....                            | 64 |
| <b>Tabla 6-5</b> Costo totales .....                                | 64 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1-2:</b> Vehículo fórmula SAE. ....                                     | 4  |
| <b>Figura 2-2:</b> Chasis de fórmula SAE.....                                     | 5  |
| <b>Figura 3-2</b> Representación del Track del vehículo. ....                     | 7  |
| <b>Figura 4-2</b> Triangulación de los nodos de la estructura.....                | 7  |
| <b>Figura 5-2</b> Ergonomía de piloto.....  | 10 |
| <b>Figura 6-2</b> Plantilla para el habitáculo del piloto.....                    | 10 |
| <b>Figura 7-2</b> Plantilla vertical para la cabina del piloto.....               | 11 |
| <b>Figura 8-2</b> Disposición de arcos de seguridad.....                          | 12 |
| <b>Figura 9-2</b> Posición de arco principal y arco frontal. ....                 | 14 |
| <b>Figura 10-2</b> Estructura lateral de monoplaça.....                           | 15 |
| <b>Figura 11-2</b> Sistema de coordenadas del chasis. ....                        | 15 |
| <b>Figura 12-2</b> Proceso de soldadura SMAW. ....                                | 17 |
| <b>Figura 13-2</b> Proceso de soldadura GTAW.....                                 | 17 |
| <b>Figura 14-2</b> Proceso de soldadura GMAW. ....                                | 18 |
| <b>Figura 15-2.</b> Comparación de dureza e impacto de procesos de soldadura..... | 19 |
| <b>Figura 16-2.</b> Análisis de penetración y rendimiento de electrodo. ....      | 19 |
| <b>Figura 17-2.</b> Análisis de costos de procesos de soldadura.....              | 20 |
| <b>Figura 18-2.</b> Carcaza de motor de arranque.....                             | 22 |
| <b>Figura 19-2.</b> Análisis de distintos elementos en sistema CAE .....          | 23 |
| <b>Figura. 1-3</b> Cabina a rediseñar .....                                       | 25 |
| <b>Figura. 2-3</b> Mala ubicación de distintos elementos .....                    | 25 |
| <b>Figura. 3-3</b> Mala posición de la transmisión .....                          | 25 |
| <b>Figura. 4-3</b> Ubicación errónea del pedal de freno .....                     | 26 |
| <b>Figura. 5-3</b> Posición de suspensión a rediseñar .....                       | 26 |
| <b>Figura. 6-3</b> Impedimento para realizar un chequeo de motor.....             | 27 |
| <b>Figura. 7-3</b> Modelado de la base del chasis .....                           | 27 |
| <b>Figura. 8-3</b> Modelado de los arcos de seguridad .....                       | 28 |
| <b>Figura. 9-3</b> Modelado del croquis de chasis en 3D .....                     | 28 |
| <b>Figura. 10-3</b> Modelado de chasis 3D .....                                   | 29 |
| <b>Figura. 11-3</b> Selección del perfil tubular .....                            | 30 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura. 12-3</b> Centros de masa del vehículo SAE .....                          | 30 |
| <b>Figura. 13-3</b> Fuerza centrífuga .....   | 34 |
| <b>Figura. 14-3</b> Componentes de la fuerza centrífuga.....                        | 35 |
| <b>Figura. 15-3</b> Selección de material del análisis estructural .....            | 36 |
| <b>Figura. 16-3</b> Selección del material en software ANSYS .....                  | 37 |
| <b>Figura. 17-3</b> Mallado del Modelo .....  | 37 |
| <b>Figura. 18-3</b> Asignación de la fuerza en la mampara delantera .....           | 38 |
| <b>Figura. 19-3</b> Deformación máxima de la mampara delantera .....                | 39 |
| <b>Figura. 20-3</b> Esfuerzo Máximo de la mampara delantera.....                    | 39 |
| <b>Figura. 21-3</b> Factor de seguridad de la mampara delantera.....                | 40 |
| <b>Figura. 22-3</b> Resumen de resultados de la mampara delantera .....             | 40 |
| <b>Figura. 23-3</b> Análisis del arco frontal .....                                 | 41 |
| <b>Figura. 24-3</b> Deformación máxima del arco frontal .....                       | 41 |
| <b>Figura. 25-3</b> Esfuerzo máximo del arco frontal.....                           | 42 |
| <b>Figura. 26-3</b> Factor de seguridad del arco frontal.....                       | 42 |
| <b>Figura. 27-3</b> Resumen de resultados del arco frontal .....                    | 42 |
| <b>Figura. 28-3</b> Análisis de arco principal.....                                 | 43 |
| <b>Figura. 29-3</b> Deformación máxima del arco principal.....                      | 44 |
| <b>Figura. 30-3</b> Esfuerzo máximo del arco principal .....                        | 44 |
| <b>Figura. 31-3</b> Factor de seguridad del arco principal .....                    | 45 |
| <b>Figura. 32-3</b> Resumen de resultados del arco principal.....                   | 45 |
| <b>Figura. 33-3</b> Análisis de la protección lateral .....                         | 46 |
| <b>Figura. 34-3</b> Deformación máxima de la protección lateral .....               | 46 |
| <b>Figura. 35-3</b> Esfuerzo máximo de la protección lateral.....                   | 47 |
| <b>Figura. 36-3</b> factor de seguridad de la protección lateral .....              | 47 |
| <b>Figura. 37-3</b> Resumen de resultados de la protección lateral .....            | 47 |
| <b>Figura. 38-3</b> Análisis de la fuerza centrífuga.....                           | 48 |
| <b>Figura. 39-3</b> Momento máximo debido a la fuerza centrífuga .....              | 49 |
| <b>Figura. 40-3</b> Factor de seguridad de la fuerza centrífuga .....               | 49 |
| <b>Figura. 41-3</b> Resumen de resultados del análisis de la fuerza centrífuga..... | 49 |
| <b>Figura. 42-3</b> Análisis de impacto a 50Km/h.....                               | 50 |
| <b>Figura. 43-3</b> Deformación máxima de impacto a 50 Km/h .....                   | 51 |
| <b>Figura. 44-3</b> Esfuerzo máximo de impacto a 50 Km/h.....                       | 51 |
| <b>Figura. 45-3</b> Análisis de impacto a 150Km/h.....                              | 51 |

|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Figura. 46-3</b> | Deformación máxima de impacto a 50 Km/h .....   | 52 |
| <b>Figura. 47-3</b> | Momento máximo de impacto a 150 Km/h .....      | 52 |
| <b>Figura 1-4</b>   | Arco frontal.....                               | 54 |
| <b>Figura 2-4</b>   | Arco principal .....                            | 55 |
| <b>Figura 3-4</b>   | Mampara delantera.....                          | 55 |
| <b>Figura 4-4.</b>  | Soporte del arco frontal.....                   | 57 |
| <b>Figura 5-4.</b>  | Soporte del arco principal .....                | 57 |
| <b>Figura 6-4.</b>  | Aplicación del proceso de soldadura GMAW .....  | 58 |
| <b>Figura 7-4.</b>  | Cordones de soldadura aplicados al chasis ..... | 59 |
| <b>Figura 8-4.</b>  | Verificación de la soldadura .....              | 59 |
| <b>Figura 9-4.</b>  | Aplicación de pintura.....                      | 60 |
| <b>Figura 10-4</b>  | compartimiento de transmisión y motor .....     | 60 |
| <b>Figura 11-4</b>  | Correcto Posicionamiento de la transmisión..... | 61 |
| <b>Figura 12-4</b>  | Posicionamiento de la barra de dirección .....  | 61 |

## SIMBOLOGÍA

MPa

*N*

kN.

*kg*

*m*

*cm*

*s*

Mega pascales

Newtons

Kilo Newtons

Kilogramos

Metros

Centímetros

Segundos



## LISTA DE ABREVIACIONES

|      |   |
|------|---|
| FSAE | Fórmula SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices)           |
| FIA  | Federación Internacional de Automovilismo.                  |
| GMAW | Soldadura por arco metálico con gas (gas metal arc welding) |
| MIG  | Metal gas inerte (Metal Inert Gas)                          |
| MAG  | Metal gas activo (Metal Active Gas)                         |
| CAD  | Diseño asistido por computadora.                            |
| ASTM | Sociedad Estadounidense para pruebas y materiales.          |

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo A**      Planos constructivos del chasis

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación se basó en la aplicación de la normativa SAE para el diseño y construcción de un chasis de competencia, el que tiene por objetivo promover el trabajo en equipo y poner en práctica los conocimientos y habilidades adquiridas. Mediante la recopilación de información se logró establecer características que deben ser consideradas para alcanzar un mejor desempeño, eficiente y que sea de fácil construcción cumpliendo con toda la normativa establecida por la formula SAE. En el software SOLIDWORKS, se realizó la modelación, estableciendo parámetros de ergonomía para los pilotos y principalmente acogiendo lo establecido por la SAE en lo que refiere a seguridades y protecciones que debe tener el prototipo. Con la ayuda del software ANSYS se realizó la simulación para evidenciar el cumplimiento de la resistencia a esfuerzos aplicados en puntos estratégicos establecidos por el reglamento. Al analizar los esfuerzos se evidencia que el chasis diseñado resiste a todos los esfuerzos establecidos por el reglamento ya que al realizar la simulación de impacto dinámico se evidencia que a una velocidad se 50 Km/h se obtiene una deformación de 3.65 mm, sabiendo que el reglamento estipula una deformación de 25 mm, por lo que se concluye que el diseño se encuentra en perfectas condiciones. Finalmente se determina un acero ASTM A500 para la construcción además se define que se utilizará un proceso de soldadura GMAW para las juntas, procediendo así a la construcción del prototipo.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA AUTOMOTRIZ>, <SOLIDWORKS>, <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR>, <REDISEÑO DE CHASIS>, <ERGONOMÍA>.

## **ABSTRAC**

This work is about the compliance with SAE (Society of Automotive Engineers) rules when designing and constructing a race car chassis. It aims to promote group work and put students' knowledge and skills into practice, collecting information determined the chassis features to improve performance and efficiency. It must also be easily manufacturable complying with SAE rules. Modeling was performed in SOLIDWORKS establishing ergonomic parameters for drivers according to SAE rules about safety and protection features a prototype must have. A simulation was done with ANSYS to show the resistance to stress at specific points established by rules. The stress analysis showed that the designed chassis resists all the stress established by SAE. The dynamic impact simulation determined that a speed of 50 km/h causes a deformation of 3.65 mm, but the maximum deformation is 25mm. Therefore, it is concluded that the design is in perfect conditions. ASTM A500 steel was chosen for the construction. Besides, a GMAW welding process will be used for the joints, and after that, the prototype will be constructed.

**Key words:** <ENGINEERING SCIENCE AND TECHNOLOGY>. <AUTOMOTIVE ENGINEERING>, <SOLIDWORKS>, <COMPUTER-AIDED DESIGN>, <CHASSIS REDESIGN>, <ERGONOMY>

# **CAPÍTULO I**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Generalidades**

La industria automotriz con el pasar de los años se ha desarrollado de tal manera que cada vez los sistemas que conforman un automóvil son más sofisticados, esto se debe a que las instituciones promueven y motivan a estudiantes, a participar y colaborar en el diseño de vehículos los mismos que poseen una alto ingenio y rendimiento. Una de las más grandes instituciones que incentivan a los estudiantes es la fórmula STUDENT SAE. La SAE realiza competencias, donde participan estudiantes de universidades de todo el mundo, los equipos deben diseñar, construir, y desarrollar un vehículo monoplaza.

### **1.2 Antecedentes**

La fórmula SAE es una competencia que se ha creado con la finalidad de destacar la excelencia de la Ingeniería Automotriz a través del diseño, y construcción de un vehículo monoplaza. El presente proyecto tiene la finalidad de que la Escuela de Ingeniería Automotriz participe en la Fórmula SAE a desarrollarse en el circuito de Brasil.

Grandes obras tecnológicas como la construcción de máquinas, edificaciones y en un ámbito profesional el diseño y construcción de soportes de vehículos, se han sustentado en el avance de la industria automotriz e industrial, es por esta razón que en la actualidad en el mundo automotriz existe una gran variedad de diseños de estructuras para la construcción de los vehículos de competencia en sus distintas categorías, dándonos como resultado un gran rendimiento, seguridad y una buena aerodinámica.

### **1.3 Justificación**

El presente proyecto tiene como objetivo rediseñar el chasis autoportante, aplicando ingeniería inversa, además con el soporte de programas computacionales, que nos permitan simular y obtener valores referentes a factores de seguridad, esfuerzos admisibles en cada parte del chasis como establece el reglamento de la fórmula SAE.

En la actualidad los softwares de CAD - CAM son de gran ayuda para la ingeniería, debido a que nos permiten modelar y simular en tiempo real los distintos fenómenos físicos presentes en determinados elementos mecánicos según se requiera, es decir se puede evidenciar momentos, esfuerzos, inercias, factores de seguridad etc.; con un margen de error mínimo. Para el desarrollo del presente proyecto se utilizará softwares convencionales y prácticos de la ingeniería como son SolidWorks y ANSYS,

Con la finalidad de construir un modelo con buen rendimiento, que alcance niveles altos de calidad, se aplicará todos los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Automotriz y se obtendrá un chasis de un vehículo basado en la Formula SAE.

### **1.4 Objetivos**

#### ***1.4.1 Objetivo general***

Rediseñar, simular y construir un chasis de competencia, que cumpla con todos los requerimientos, y normativas que exige la Fórmula SAE.

#### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Analizar el reglamento y características de los componentes del vehículo de la Fórmula SAE, recopilar información, para buscar la implementación de este tipo de diseño y aplicar en la Escuela de Ingeniería Automotriz.
- Construir un chasis de Fórmula SAE con una correcta selección de materiales existentes en el mercado Nacional.

- Realizar las pruebas respectivas de campo del prototipo para medir su rendimiento y resistencia a fin de verificar su efectividad

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Vehículos Fórmula SAE

En la Fórmula SAE participan vehículos monoplazas tipo fórmula, con motores de 4 tiempos de 710cc máximo, En el reglamento de la fórmula SAE establece distintas restricciones para el diseño y materiales empleados en la fabricación del chasis, así como también establece parámetros que abarca la seguridad que debe brindar al piloto. Para la construcción de un chasis se utiliza elementos estructurales multitubulares de acero de bajo carbono (Oscar, 2009).



**Figura 1-2:** Vehículo fórmula SAE.

**Fuente** (Oscar, 2009)

##### 2.1.1 Chasis

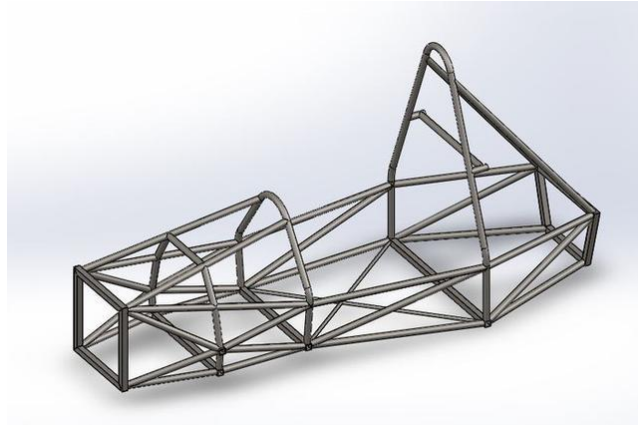
Es una autoparte principal del automóvil, que es diseñado para soportar grandes esfuerzos sin afectar su alineación y diseño estructural, además en su estructura acoge a diferentes sistemas que conforma el automóvil como son: motor de combustión interna, sistema de transmisión, sistema de dirección, sistema de frenos, sistema de suspensión entre otros (Mecanica y automocion, 2009).



Los vehículos de competencia están diseñados por dos tipos de chasis que son los “monocascos” y los “tubulares”, En el primero, el chasis forma parte de la carrocería. Los tubulares son los más utilizados como refuerzo de los vehículos de competencia.

El reglamento de la Fórmula SAE establece que el chasis debe ser fabricado de forma tubular, bajo mediadas mínimas y esfuerzos a los cuales el chasis debe soportar, de tal manera que se otorgue la seguridad necesaria al piloto.

La ligereza, rigidez y costos son factores determinantes que se debe tener en cuenta para el diseño de un vehículo debido a que estos agentes que influyen directamente en una competencia. Además se debe tener en cuenta que los diseños estructurales debe soportar todos los esfuerzos a los que se encuentra sometido el vehículo.



**Figura 2-2:** Chasis de fórmula SAE.

**Fuente:** Autor

## 2.2 Fórmula SAE

Es una competencia a nivel internacional donde cada vehículo que participa es la representación de grupos conformados por estudiantes de distintas universidades, este circuito se basa en el diseño, construcción, y participación de un vehículo monoplaza.

En el reglamento estipulado por la Fórmula SAE establece que los vehículos deben cumplir con pruebas dinámicas y estáticas que aseguren un máximo rendimiento; el vehículo es evaluado por jueces quienes, en base a puntuación, califican hasta obtener un máximo de 1000 puntos, como se detalla en la tabla 1-2.

**Tabla 1-2:** Puntuación de la competencia

| <b>Eventos estáticos</b> | <b>Puntos</b> |
|--------------------------|---------------|
| Presentación             | 75            |
| Diseño de Ingeniería     | 150           |
| Análisis de costos       | 100           |
| <b>Eventos dinámicos</b> |               |
| Aceleración              | 75            |
| Skid – Pad               | 50            |
| Autocross                | 150           |
| Consumo                  | 100           |
| Resistencia              | 300           |
| Total                    | 1000          |

**Fuente:** (Reglamento Fórmula SAE, 2017)

### ***2.2.1 Reglamento de la fórmula SAE***

El reglamento de la Fórmula SAE se establece por ciclos de dos años, para el proyecto se utilizará el reglamento 2017-2018, donde proporciona una flexibilidad de diseño, creatividad e imaginación para la elaboración del vehículo. En el reglamento existen muy pocas restricciones en lo que refiere al diseño del vehículo.

El desafío es desarrollar un vehículo que pueda competir con éxito en todos los eventos descritos en las Reglas de FSAE, demostrando la creatividad y conocimientos de ingeniería de cada uno de los equipos conformados en representación de las universidades de todo el mundo.

Según el reglamento Fórmula SAE 2017 el vehículo debe tener un alto rendimiento en términos de aceleración, frenado y manejo, además de ser resistente y duradero para completar las distintas pruebas descritas en el reglamento.

#### ***2.2.1.1 Requerimientos del chasis según la fórmula SAE***

En los requerimientos para la construcción del chasis establece que el Wheel Base (distancia entre ejes) debe tener una medida de al menos 1525 mm. (60 pulgadas). Esta distancia es medida desde el centro de contacto con el suelo de las ruedas delanteras, al

centro de contacto con el suelo de las ruedas traseras como se observa en la figura 3-2 (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

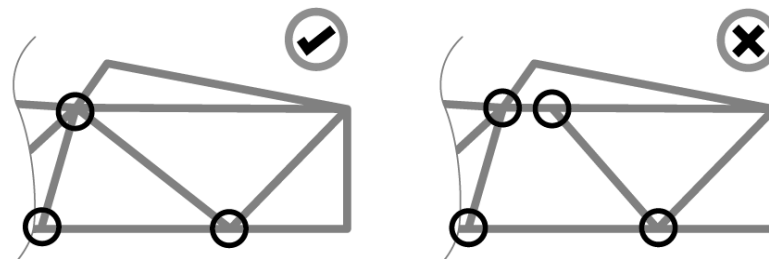
Otro punto que se debe considerar es el Track (pista o huella), el reglamento estipula que el Track más pequeña del vehículo (delantera o trasera) debe ser no menos del 75% del Track más grande. Se entiende como Track a la distancia entre ruedas del mismo eje como se representa en la figura 3-2 (Reglamento Fórmula SAE, 2017).



**Figura 3-2** Representación del Track del vehículo.

Fuente: Autor

En la construcción debe existir una triangulación nodo a nodo. No se puede dejar nodos abiertos con la finalidad de obtener una eficacia en la distribución de esfuerzos. Los miembros estructurales deben tener una disposición de marco proyectada sobre un plano, donde una carga coplanar aplicada en cualquier dirección, nodo, da como resultado fuerzas de tracción o compresión en los miembros del marco como se muestra en la figura 4-2 (Reglamento Fórmula SAE, 2017).



**Figura 4-2** Triangulación de los nodos de la estructura. Nota: el nodo de la estructura debe cerrar la triangulación no es permitido dejar nodos abiertos.

Fuente: (Reglamento Fórmula SAE, 2017)

Se define que el área del lado del vehículo, extendiéndose desde la parte superior del suelo hasta 350mm, por encima del suelo desde el arco delantero de vuelta al arco principal (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

Para obtener una movilidad del vehículo debe existir un punto de enganche en la parte posterior del vehículo para soportar su peso, el mismo que debe estar situado en forma horizontal, y estar orientado perpendicularmente a la línea longitudinal del vehículo. Su magnitud debe ser mayor a 300mm con un diámetro mayor a 25.4mm (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

La altura mínima establecida debe ser medida desde la parte más baja del tubo de enganche hasta el suelo con una magnitud de 75mm. Los 180° inferiores del tubo deben estar descubierto en una magnitud mínima de 280mm (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

#### 2.2.1.2 Requerimientos del material.

En la tabla 2-2 se detalla según el reglamento SAE 2017, los requisitos mínimos para los miembros estructurales si se realiza con tubos de acero.

**Tabla 2-2.** Espesores mínimos de miembros estructurales

| Material y aplicación  | Espesor de pared mínimo |
|--|-------------------------|
| Aros principales y delantero   | 2.0 mm (0.079 inch)     |
| Barra de montaje del arnés   |                         |
| Tubería de acero para arriostramiento del aro con rodillo, soportes, estructura de impacto lateral, tabique hermético delantero, soporte del tabique hermético frontal, accesorio del arnés del conductor (excepto como se indicó anteriormente), protección de acumuladores de alto voltaje y protección de sistemas de tracción HV | 1.2 mm (0.047 inch)     |
| Grosor mínimo de pared permitido para equipos que satisfacen los requisitos de pruebas físicas   |                         |
| Aros principales y delantero   | 1.6 mm (0.065 inch)     |
| Barra de montaje del arnés   |                         |
| Tubería de acero para arriostramiento del aro con rodillo, arriostramiento del aro con rodillo, soportes, estructura de impacto lateral, tabique hermético delantero, soporte del tabique hermético frontal, accesorio del arnés del conductor   | 0.9 mm (0.035 inch)     |

---

(excepto como se indicó anteriormente), protección de acumuladores de alto voltaje y protección de sistemas de tracción HV

---

*Nota:* No se permiten tubos de acero de aleación SAE 4130, para tener un espesor de pared más delgado que el utilizado con acero dulce.

**Fuente:** (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

**2.2.1.3 Requerimientos para el piloto.** La altura del piloto es un factor muy importante a considerar para el diseño y construcción del chasis, por lo que se toma como referencia el más alto del equipo. (*Reglamento Fórmula SAE, 2017*).

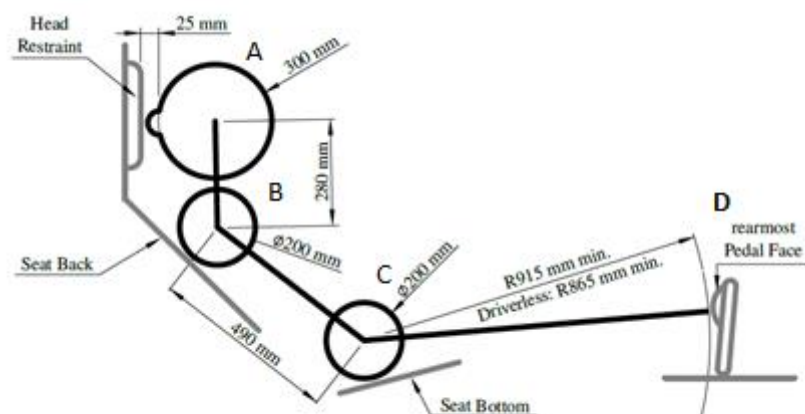
*Ergonomía de piloto.* En el reglamento SAE detalla cómo se debe considerar la ergonomía del piloto para el diseño del monoplaza.

Si se observa la Figura 5-2, el círculo A representa la cabeza con el casco del piloto con un diámetro de 300 mm, el círculo B que simboliza los hombros del piloto, con un diámetro de 200 mm, y el círculo C con un diámetro de 200 mm representa la cadera del piloto (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

La línea recta A-B simboliza la conexión de la cabeza con los hombros y su medida es de 280 mm.

La línea recta B-C corresponde a la medida de 490 mm la cual conecta, en la representación los hombros con la cadera.

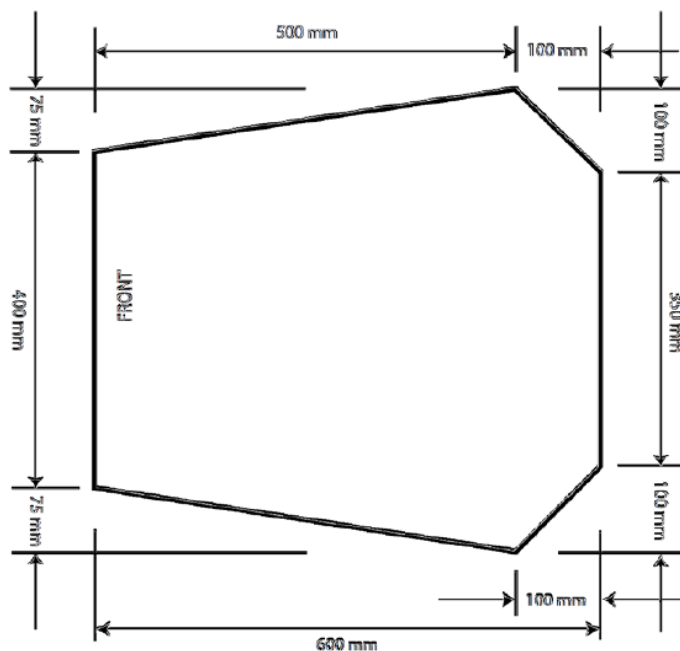
La línea recta C-D con una medida mínima de 915 mm representa la distancia de la cadera hacia los pies y pedales del vehículo.



**Figura 5-2** Ergonomía de piloto.

**Fuente:** (Reglamento Fórmula SAE, 2017)

Para garantizar un diseño adecuado en lo que refiere a la abertura de acceso del piloto, la SAE establece una plantilla que se representa en la figura 6-2, la misma que se introduce de forma vertical en el habitáculo hasta que haya pasado por debajo de la barra superior de la estructura de impacto lateral o hasta que este 350 mm o 13.8 pulgadas por encima del suelo.

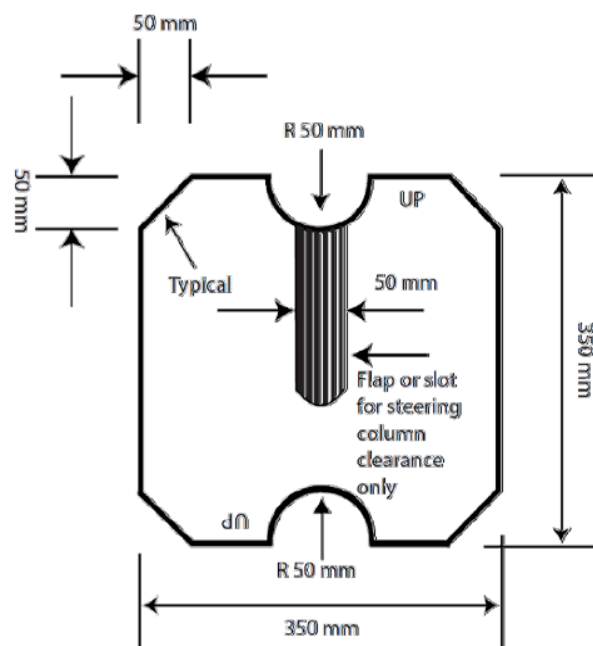


**Figura 6-2** Plantilla para el habitáculo del piloto.

**Fuente:** (Reglamento Fórmula SAE, 2017)

Al momento de realizar esta prueba, el volante, columna de dirección, el asiento y las protecciones pueden ser retiradas, el aislante de calor o firewall no puede ser movido o eliminado (Reglamento Fórmula SAE, 2017)

En la figura 7-2 se ilustra una plantilla que debe pasar horizontalmente a través de la cabina del piloto a un punto 100 mm. (4 pulgadas) hacia atrás de la cara del pedal de más atrás cuando está en la posición no operativa, debe estar en una posición a lo largo de su entera longitud, si los pedales son sujetables se ponen en su posición más adelantada (Reglamento Fórmula SAE, 2017).



**Figura 7-2** Plantilla vertical para la cabina del piloto.

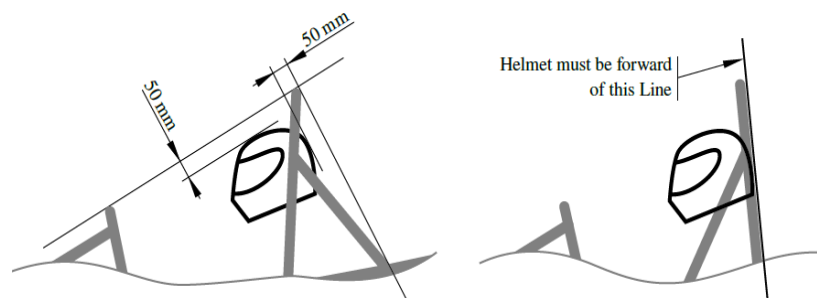
**Fuente:** (Reglamento Fórmula SAE, 2017)

La plantilla posee un espesor máximo de 7 mm. (0.275 pulgadas), los elementos que se pueden eliminar para esta prueba son: el volante y cualquier relleno requerido que sirva de protección para las piernas del conductor en el asiento. El asiento no se puede retirar (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

- Los cables, alambres, tubos, mangueras, etc., no deben impedir el paso de las plantillas.
- Si el vehículo no cumple estas dos reglas mencionadas anteriormente, no recibe el sello de inspección técnica y no podrá competir en los eventos dinámicos (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

- El conductor debe tener una visibilidad adecuada de la parte frontal y lateral del vehículo, el conductor debe estar sentado en una posición normal de conducción, debe poseer un mínimo de campo de visión de 200 grados (200°), dividido en un mínimo de cien grados (100°) a cada lado del conductor. La visibilidad se la puede obtener por el conductor al girar su cabeza y el uso de espejos (Reglamento Fórmula SAE, 2017).
- En caso de emplear espejos deben cumplir con los grados de visibilidad, además deben permanecer en su lugar y estar debidamente ajustados para permitir la visibilidad necesaria en todos los eventos dinámicos (Reglamento Fórmula SAE, 2017).
- El reglamento establece que, para el diseño del habitáculo del piloto, debe tener dimensiones donde el piloto sea capaz de salir del vehículo en un tiempo inferior a 5 segundos, (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

*Arcos de seguridad.* El diseño del chasis debe brindar una seguridad total al piloto, por lo que se debe construir dos arcos de seguridad, que se encuentran ubicados el uno al frente del piloto por detrás del volante de dirección, y el otro en la parte posterior por la espalda y cabeza del piloto como se indica en la figura 8-2.



**Figura 8-2** Disposición de arcos de seguridad.

**Fuente:** (Reglamento Fórmula SAE, 2017)

Estos arcos de seguridad garantizan que en caso de vuelco la cabeza y las manos del piloto nunca deben estar en contacto con el suelo además los arcos protegerán la cabeza del piloto, por lo que los arcos deben poseer una medida mayor que la posición del piloto, y en ningún momento la distancia deberá ser menor a 50mm. (2 pulgadas) entre la línea imaginaria que une las partes superiores de los arcos de seguridad y el casco del piloto (Figura 8-2).



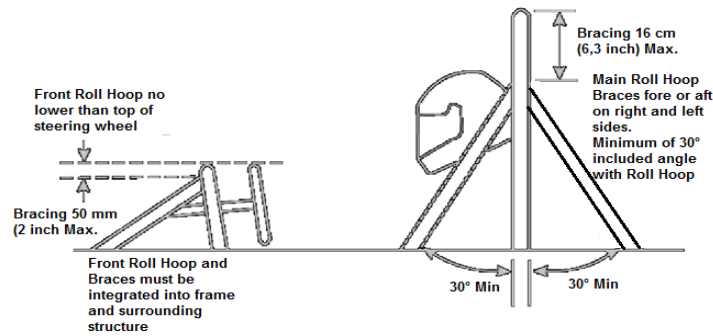
Arco principal. El reglamento SAE 2017 establece que debe ser fabricado como una pieza única sin poseer cortes. En la vista lateral del vehículo el arco principal que se encuentra por encima de su punto de fijación a la estructura debe poseer una inclinación de diez grados ( $10^\circ$ ) con la vertical. En la vista frontal del vehículo, los elementos verticales del arco principal deben poseer una medida de al menos 380 mm. de distancia al lugar dónde el arco principal está unida a la estructura principal del marco (Reglamento Fórmula SAE, 2017)

Arco frontal. Se construye bajo los mismos parametros que el arco principal, y debe extenderse desde la parte más baja de un lado del marco, hasta la parte más baja del otro lado.

Es aceptable que el arco frontal se manufacture con más de una pieza tubular, siempre y cuando tenga uniones correctas y triangulaciones en los nodos permisibles como lo estipula el reglamento. Se debe cumplir que la parte superior del arco frontal no sea menor que la parte superior del volante de dirección en cualquier posición angular del mismo. En la vista lateral el arco frontal no deberá tener una inclinación de más de veinte grados ( $20^\circ$ ) sobre la vertical (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

Soportes del arco principal. Para su fabricación se debe utilizar materiales como lo especifica en la Tabla 2-2. El arco principal debe ser apoyado por dos soportes o tirantes, uno hacia adelante y el otro hacia atrás, estos no deberán estar al mismo lado.

Los soportes deben ser unidos mediante soldadura en la parte más alta admisible, no debajo de los 160 mm desde la parte superior del arco principal; El ángulo formado por el arco principal y los tirantes debe poseer al menos treinta grados ( $30^\circ$ ) como se observa en la Figura 9-2 (Reglamento Fórmula SAE, 2017).



**Figura 9-2** Posición de arco principal y arco frontal.

Fuente: (Reglamento Fórmula SAE, 2017)

Soportes del arco frontal. El material de los soportes o tirantes del arco frontal están detallados en la Tabla 2-2. El arco frontal debe ser apoyado por dos soportes o tirantes, establecidos en las dos direcciones, uno hacia adelante y el otro hacia atrás. Los soportes del arco frontal tienen como finalidad proteger las piernas del piloto, y deben extenderse a la estructura de la parte delantera de los pies del piloto.

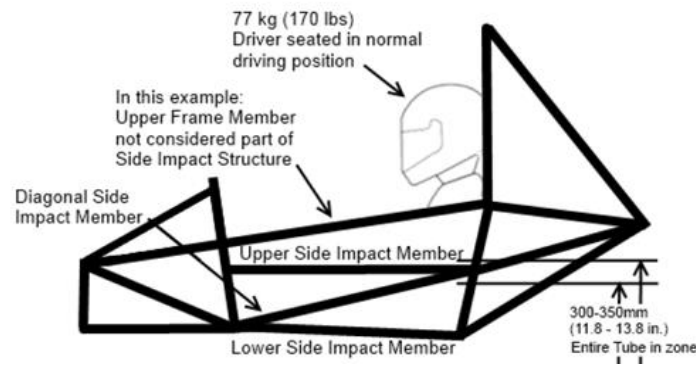
*Estructura de impacto lateral.* Debe estar construida por al menos tres elementos tubulares ubicados a cada lado del piloto cuando este sentado en una posición normal de manejo como se muestra en la Figura 10-2. Los tres elementos tubulares deben estar especificados según la Tabla 2-2, y su ubicación debe ser:

El elemento que se encuentra en la parte superior de la protección lateral debe estar unido al arco principal y al arco frontal, con el peso del piloto de 77 Kg sentado en posición normal de manejo, une a una altura de entre 300 mm y 350 mm sobre el suelo. (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

El elemento inferior de impacto lateral debe conectar la parte inferior del arco principal y el arco delantero. El larguero inferior del chasis puede ser utilizado si este elemento cumple con los requisitos estipulados de los materiales. (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

El elemento de impacto diagonal debe conectar los miembros superior e inferior de impacto lateral por delante del arco principal y por detrás del arco frontal (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

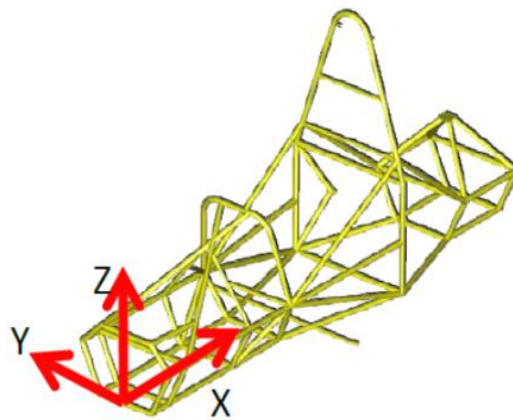
La adecuada triangulación hace posible construir elementos estructurales de impacto de más de una sola pieza de tubo. Todos los cálculos de equivalencia del monocasco se deben demostrar con respecto al grado de acero SAE / AISI 1010.



**Figura 10-2** Estructura lateral de monoplaza.

**Fuente:** (Reglamento Fórmula SAE, 2017)

Requisitos para las cargas aplicadas al chasis. Según el reglamento SAE 2018 se debe considerar un sistema de coordenadas como lo estipula la figura 11-2.



**Figura 11-2** Sistema de coordenadas del chasis.

**Fuente:** (Reglamento Fórmula SAE, 2017)

Las cargas establecidas por el Reglamento SAE 2017 se detalla a continuación:

**Cargas aplicadas al arco principal y tirantes de apoyo.** Las cargas serán aplicadas en la parte superior del arco principal con una deformación máxima admisible de 25mm. (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

- $F_x = 6.0 \text{ kN}$ .
- $F_y = 5.0 \text{ kN}$ .
- $F_z = -9.0 \text{ kN}$ .

**Cargas aplicadas en el arco frontal.**

- $F_x = 6.0 \text{ kN}$ .
- $F_y = 5.0 \text{ kN}$ .
- $F_z = -9.0 \text{ kN}$ .

Estas cargas serán aplicadas en la parte superior del arco frontal, con una deformación máxima admisible de 25 mm, (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

**Cargas aplicadas en la zona de impacto lateral.** La carga será aplicada entre el arco frontal y el arco principal con una deformación máxima admisible de 25 mm, (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

- $F_x = 0 \text{ kN}$ .
- $F_y = 7 \text{ kN}$ .
- $F_z = 0 \text{ kN}$ .

**Cargas aplicadas en la mampara delantera.** Esta carga será aplicada en los puntos de unión entre el atenuador de impactos y la pared delantera con una deformación máxima admisible de 25 mm (Reglamento Fórmula SAE, 2017).

- $F_x = 150 \text{ kN}$ .
- $F_y = 0 \text{ kN}$ .
- $F_z = 0 \text{ kN}$ .

### **2.3 Procesos de soldadura**

La soldadura es un proceso de fijación en la que se unen dos o más elementos de un material, generalmente metales o termoplásticos, esta acción se realiza mediante fusión, donde los elementos son soldados por un proceso de fundición, a esta actividad se puede agregar un material de aporte metal o plástico, que, al enfriarse, se convierte en una unión fija a la que se denomina cordón (Esquivel, 2017).

En la industria existen varios procesos de soldadura, pero los principales son:

*Proceso de soldadura SMAW*, (Shielded Metal Arc Welding). Proceso de soldadura eléctrica con electrodo revestido, se caracteriza por la creación y mantenimiento de un arco eléctrico entre una varilla metálica llamada electrodo y un material base a soldar.



**Figura 12-2** Proceso de soldadura SMAW.

Fuente: (Esquivel, 2017)

*Proceso de soldadura GTAW*. (Gas Tungsten Arc Welding), establece un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno y la pieza de trabajo a unir, se requiere de la protección de un gas o mezcla de gases.



**Figura 13-2** Proceso de soldadura GTAW.

Fuente: (Esquivel, 2017)

*Proceso de soldadura GMAW*. (Gas Metal Arc Welding), establece un arco eléctrico entre la pieza de trabajo y el alambre electrodo que se alimenta continuamente. Utiliza una máquina de voltaje constante, antorcha y un mecanismo que alimenta el alambre hacia la unión de los metales, es requerida la protección de un gas o mezcla de gases.



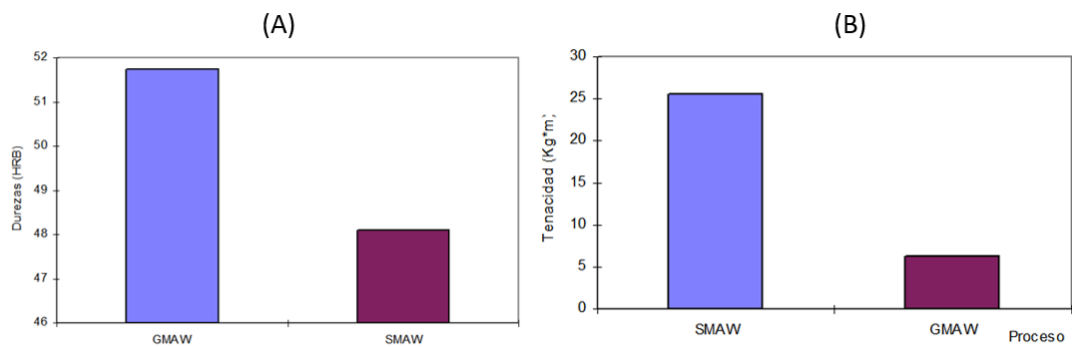
**Figura 14-2** Proceso de soldadura GMAW.

**Fuente:** (Esquivel, 2017)

Uno de los principales procesos tecnológicos en las operaciones de montaje en fabricación mecánica y reparación, lo constituyen los trabajos de soldadura, estos procesos llevan consigo la realización de un gran volumen de soldadura, hecho que influye, de manera considerable, en la eficiencia y calidad del montaje, es por esto que es muy importante considerar, la reducción de los costos y el perfeccionamiento de la calidad en los procesos de soldadura, para así alcanzar la eficiencia de dichos procesos, y por ende, lograr una mejora en la productividad. Esta optimización puede ser lograda a través de la aplicación de métodos de soldadura ya establecidos para cada requerimiento, lo que permitiría reducir los defectos en la producción y obtener una mejor aplicabilidad (Gonzalez, 2017).

Por otro lado, es importante señalar que la trayectoria que ha tenido la soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido, en materia de uso y estudio, ha dejado a un lado a otros métodos que podrían resultar más eficientes, de mejor aplicabilidad y más económicos en determinados casos. Por lo que se realizará una comparación entre los procesos de soldadura con electrodos revestidos (SMAW) y arco metálico con gas de protección (GMAW), en función de las propiedades mecánicas manipulación y costos de cada uno de ellos (Gonzalez, 2017).

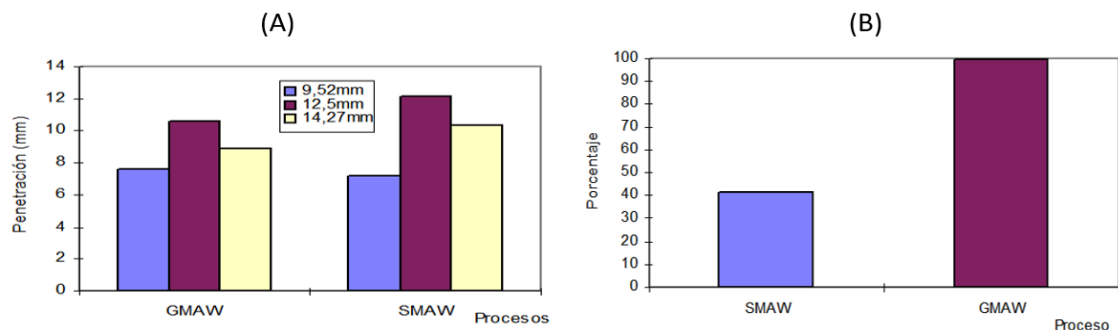
Se ha realizado distintos ensayos de dureza e impacto CHARPY los cual son representados en la figura 15-2. Los ensayos de dureza favorecen notablemente al proceso GMAW mientras que en los ensayos de impacto se observa una mejor resistencia al proceso SMAW (Gonzalez, 2017).



**Figura 15-2.** Comparación de dureza e impacto de procesos de soldadura. (A) Gráfica de resultados promedio de Dureza Brinell, (B) Gráfica de resultados promedio de ensayo impacto Charpy.

**Fuente:** (Esquivel, 2017)

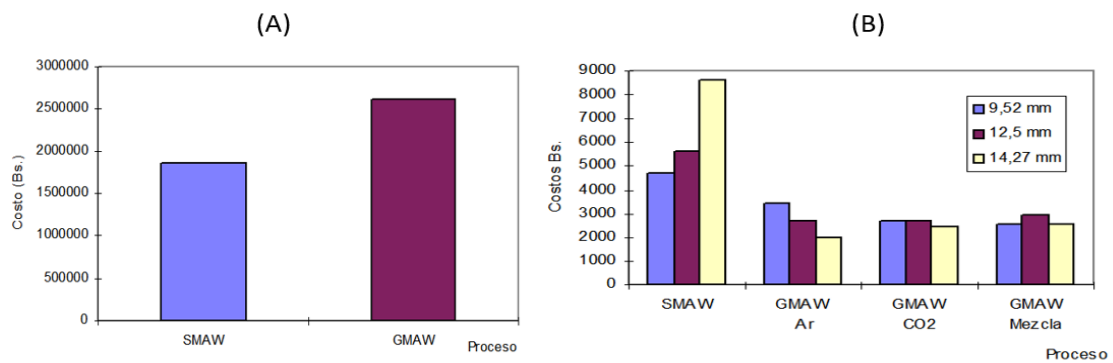
También se ha analizado la penetración y el rendimiento de electrodo de los procesos como indica la figura 16-2. En las gráficas se observa que el proceso SMAW posee mayor penetración, pero el rendimiento de utilización de electrodo favorece al proceso GMAW (Gonzalez, 2017).



**Figura 16-2.** Análisis de penetración y rendimiento de electrodo. (A) Graficas de penetración de soldadura, (B) grafica de rendimiento de electrodo en la soldadura.

**Fuente:** (Gonzalez, 2017)

Al analizar los costos de implementación de los procesos se observa que existe un mayor costo para el proceso GMAW, pero al interpretar los costos por metro de soldadura se observa que es más caro el proceso SMAW como se observa en la figura 17-2, (Gonzalez, 2017).



**Figura 17-2.** Análisis de costos de procesos de soldadura. (A) Costos de implementación. (B) Costos por metro de soldadura.

Fuente: (Gonzalez, 2017)

Al realizar un análisis de los procesos de soldadura se decide aplicar el proceso GMAW para la fabricación del chasis del monoplaza.

*Soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa (G.M.A.W.).* Este proceso de soldadura es semiautomático que usa una pistola manual, en la cual el equipo alimenta el electrodo en forma continua. En este proceso, el soldador simplemente debe manejar la pistola durante el soldeo, mientras el equipo alimenta el alambre de aporte automáticamente, a diferencia de los procesos manuales, como el SMAW (electrodo revestido), en el que el operario tiene que recargar la pistola con una nueva varilla, cada vez que es necesario, hasta terminar el trabajo (Proceso de soldadura MIG-MAG, 2008 pág. 20).

El proceso GMAW se subdivide en dos procesos MIG y MAG; El proceso MIG utiliza un gas inerte como protección de soldadura, los gases inertes utilizados como protección suelen ser argón (Ar), helio (He) o mezclas de ambos, (Ar+He); en cambio en el proceso MAG se utiliza un gas activo como protección de soldadura, los gases activos son mezclas con base en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). En ambos casos, el electrodo, una varilla o alambre de núcleo compatible con el metal que se va a soldar, se funde para rellenar la unión.

En las dos técnicas, el gas sirve como una barrera que protege el arco del aire, principal causante de oxidación, la diferencia es que en MIG no reacciona con el metal ni influye en las propiedades del fundido, además por ser inerte es más estable, la soldadura tiene una menor penetración, mejor acabado, no causa deformaciones en las piezas delgadas y



es especial para trabajos en materiales delicados. Se utiliza en la reparación de ejes, fabricación de tanques, carrocerías, rines de automóviles, embarcaciones y aeronaves (Proceso de soldadura MIG-MAG, 2008 pág. 19).

Por su parte, la aplicación MAG, que utiliza gas activo CO<sub>2</sub>, genera mayor penetración de la soldadura, mejora las propiedades físicas de la unión y aumenta su resistencia al impacto, corrosión y cambios de temperatura. Sin embargo, la naturaleza activa del gas, produce cordones de soldadura más abultados e incrementa las salpicaduras.

Debido a sus dos formas de aplicación, la técnica G.M.A.W se ha convertido en un proceso versátil, que permite soldar desde los espesores más finos hasta los más gruesos (a partir de 0.03mm) tanto en metales ferrosos como no ferrosos; específicamente el sistema MIG se emplea para unir piezas delgadas de aluminio, cobre, magnesio, inoxidable y titanio, mientras el MAG es ideal para la mayoría de aceros y hierros al carbono y bajo carbono, en todas las dimensiones (Proceso de soldadura MIG-MAG, 2008 pág. 19).

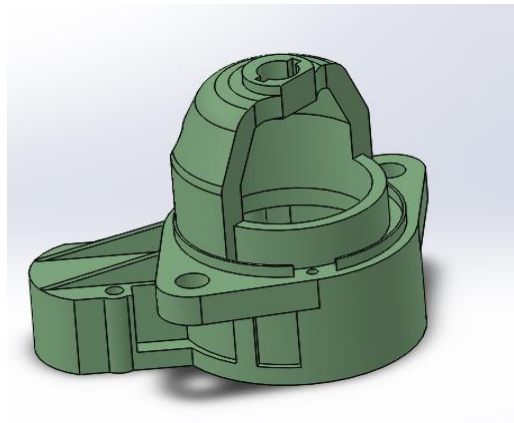
## **2.4 Sistemas asistidos por computadora.**

Por la dificultad de recrear algunas situaciones de estudio, en la actualidad se ha diseñado una posibilidad muy útil como son los simuladores, que son programas que buscan reproducir fenómenos naturales que están descritos y definidos por un conjunto de variables que combinan mediante la interacción del tiempo con un algoritmo determinado a fin de describir de manera intuitiva el comportamiento del sistema real (Cataldi, Lage, & Dominighini, 2013).

Los software de simulación son una herramienta muy útil para la toma de decisiones en el área de diseño y operación de un sistema, además permite realizar análisis y evaluaciones respondiendo a la pregunta ¿Qué pasaría si?; por esta razón es primordial para los ingenieros diseñadores, analistas, administradores, directivos para la resolución de problemas, ya que permite diseñar un sistema real y realizar experimentos con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema (Cataldi, Lage, & Dominighini, 2013).

Diseño asistido por computadora (CAD). Es el uso de sistemas computacionales para la creación, modificación y optimización de un diseño (Leão, 2016).

El CAD es importante para la industria ya que se puede realizar esquemas en 2D y 3D (ver figura 18), los cuales pueden rotarse para ser vistos de cualquier ángulo incluso desde adentro hacia afuera, y se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la industria automotriz, la de construcción naval, y la aeroespacial (Leão, 2016).



**Figura 18-2.** Carcaza de motor de arranque ilustrada en CAD.

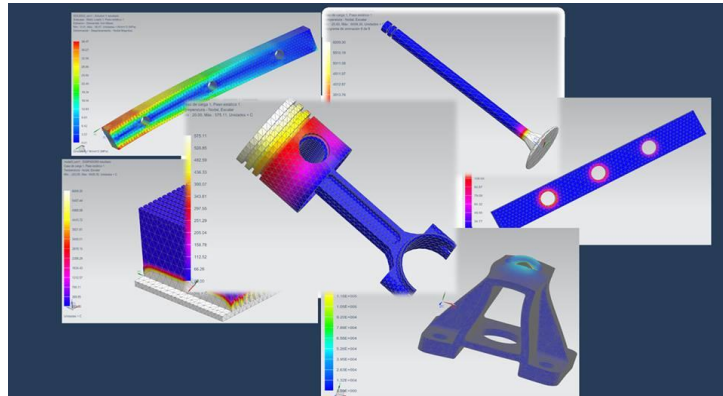
**Fuente:** Autor

Con los programas CAD se puede alcanzar:

- Mejora la representación gráfica del objeto diseñado, ya que el modelo puede aparecer en una pantalla como una imagen realista en movimiento y observarlo de distintos puntos de vista.
- Mejora el proceso de diseño, debido a que se puede visualizar detalles del modelo, comprobar colisiones entre piezas, interrogar sobre distancias, pesos, inercias entre otras.

Ingeniería asistida por computadora (CAE). Es el uso de programas computacionales con la finalidad de realizar análisis de ingeniería. Los programas de ingeniería incluyen análisis de elementos finitos (FEA), mecánica de fluidos computacional (CFD), sistema multicuerpo (MDB) (Leão, 2016).

Los sistemas CAE son utilizados para analizar la solidez, rendimiento de los componentes de ensamble es decir que abarcan simulación, validación y optimización de productos y de herramientas de fabricación (Leão, 2016).



**Figura 19-2.** Análisis de distintos elementos en sistema CAE

**Fuente:** Autor

## **CAPÍTULO III**

### **3. REDISEÑO DE CHASIS**

El chasis es un elemento, en el cual se reúnen todas las partes y piezas que conforman al vehículo, además debe obtener una estructura rígida para soportar todos los esfuerzos a los que va ser sometido.

Para el rediseño del chasis se debe tener en cuenta la protección del piloto, así como también otros factores que en la competencia son influyentes como son el peso, la rigidez e hipotéticamente la distribución de masas, tomando en cuenta medidas aproximadas de lo que llegaría a ser el motor y piloto. Además, es de suma importancia considerar las restricciones del reglamento FSAE indica.

#### **3.1 Verificación de las condiciones iniciales del chasis a rediseñar**

El chasis a rediseñar presenta varios inconvenientes los cuales se debe considerar para el diseño del nuevo chasis:

La cabina (ver figura 1-3) destinada para el piloto no posee las dimensiones correctas en lo que se refiere a la dimensión longitudinal, esto se comprobó, pues se seleccionó a varios pilotos y ninguno pudo ingresar en la cabina por la dimensión que tiene.



**Figura. 1-3** Cabina a rediseñar

Fuente: Autor

Existe una mala distribución de varios elementos que posee el vehículo como es el radiador, tanque de combustible, batería, cuerpo de aceleración entre otros, como se observa en la figura 2-3



**Figura. 2-3** Mala ubicación de distintos elementos

Fuente: Autor

El sistema de transmisión está posicionado con una excesiva inclinación como se observa en la figura 3-3



**Figura. 3-3** Mala posición de la transmisión

Fuente: Autor

El sistema de frenos posee dificultad para ser utilizado puesto que la dirección del vehículo obstaculiza la funcionalidad del mismo, como se observa en la figura 4-3



**Figura. 4-3** Ubicación errónea del pedal de freno

**Fuente:** Autor

El posicionamiento de la suspensión hace que el chasis sufra mayores esfuerzos en su estructura puesto que la suspensión no transmite adecuadamente los distintos esfuerzos producidos en la circulación del vehículo, como se observa en la figura 5-3



**Figura. 5-3** Posición de suspensión a rediseñar

**Fuente:** Autor

El motor posee una gran dificultad para ser revisado, además en caso de que posea una avería y se requiera sacar el motor del chasis existe un gran impedimento puesto que se tendría que cortar las bases para poder retirarlo ya que estas se encuentran soldadas, ver figura 6-3



**Figura. 6-3** Impedimento para realizar un chequeo de motor

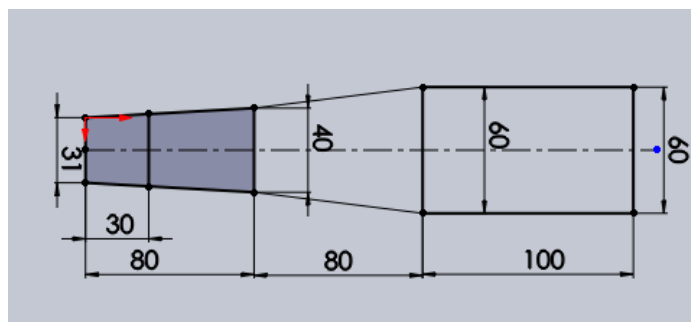
Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los problemas que presenta el actual chasis, así como también los requerimientos impuestas por el reglamento, se procede a realizar la modelación del chasis, para posteriormente ser sometido a pruebas de esfuerzo asistido por software.

### 3.2 Modelación del chasis en software SolidWorks.

Al evidenciar los distintos problemas que presenta el actual chasis se decide realizar un nuevo prototipo de chasis, el cual solucione en su totalidad los inconvenientes.

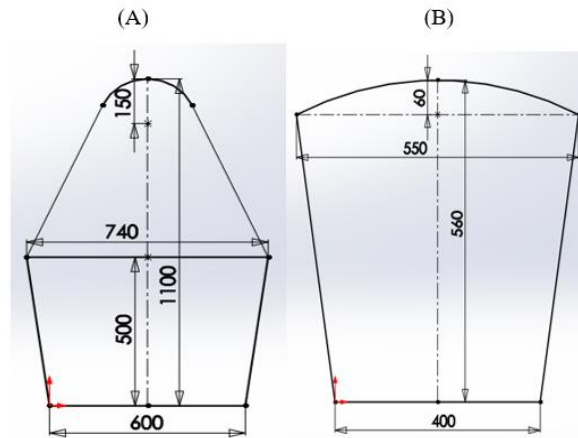
Se empieza el modelado realizando la base del chasis el mismo que posee una longitud total de 2.6 m como se observa en la figura 7-3



**Figura. 7-3** Modelado de la base del chasis

Fuente: Autor

También se modela el arco principal y el arco frontal como se observa en la figura 8-3

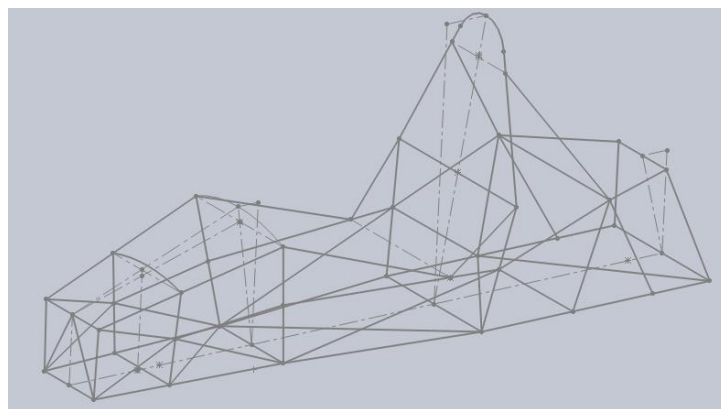


**Figura. 8-3** Modelado de los arcos de seguridad

(a) Arco principal. (b) Arco frontal.

Fuente: Autor

Modelado las partes principales en 2D se procede a realizar el croquis en 3D del chasis, como se observa en la figura 9-3.

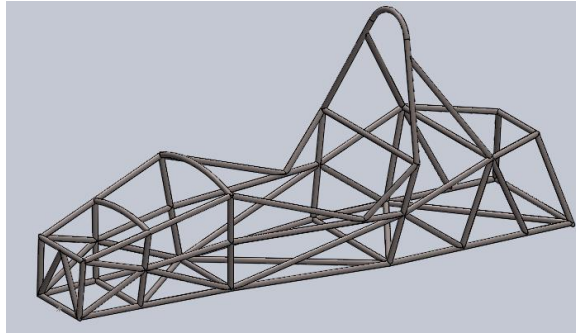


**Figura. 9-3** Modelado del croquis de chasis en 3D

Fuente: Autor

Terminado el boceto del chasis en 3D, se aplica un miembro estructural redondo (tubo), teniendo en cuenta los diámetros más próximos en las diferentes zonas del chasis (Ver figura 10-3), establecidos en el Reglamento de la Fórmula SAE 2017, los cuales se encuentran codificados en la Tabla 2-2.





**Figura. 10-3** Modelado de chasis 3D

Fuente: Autor

### 3.3 Selección de materiales

La estructura del chasis está conformada por acero aleado con un mínimo de 0.1% de carbono, la utilización de materiales con aleaciones nos impide utilizar materiales con un grosor de pared menor mencionado para el acero bajo en carbono (Tabla 2-2).

El acero ASTM A500, es el material que se utilizó en el chasis, ya que este cumple todas las condiciones impuestas por la Organización: pruebas de tensión, torsión y compresión; y tenemos a disposición este material en nuestro mercado.

Según el catálogo DIPAC se selecciona el material a utilizar como se observa en la figura 11-3.



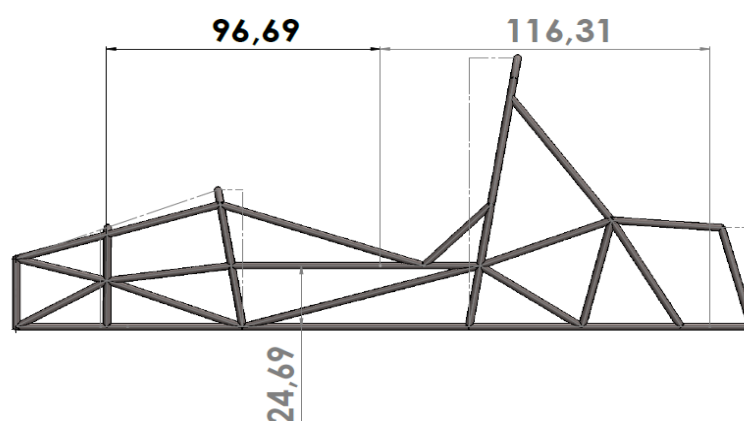
**Figura. 11-3** Selección del perfil tubular

Fuente: (DIPAC, 2018)

### 3.4 Determinación de centros de masa

**3.4.1 Batalla.** Es la distancia entre ejes, y es importante en el comportamiento dinámico del vehículo, debido a su vinculación directa con el diseño de la suspensión y dirección del prototipo.

En la figura 12-3 representa la distancia desde los ejes hasta el centro de masa del chasis, además se procede a calcular la distancia entre ejes.



**Figura. 12-3** Centros de masa del vehículo SAE

Fuente: Autor

$$B = l_1 + l_2 \quad (1)$$

$$B = (96.69 + 116.31)cm$$

$$B = 213cm$$

$$\mathbf{B = 2.13m}$$

**3.4.2 Masas totales delanteras y posteriores.** Es la suma de la masa suspendida y la no suspendida, por lo general un monoplaza de la Fórmula SAE tiene una masa total de 320kg.

Para determinar las masas en el eje delantero y posterior, debemos tomar en cuenta la distancia del centro de masa a los ejes como se muestra en la (Figura 12-3), la longitud total del chasis es de 2.6 m.

#### *3.4.2.1 Masa en el eje delantero*

$$M^d = \frac{m.l_1}{B} \quad (2)$$

$$M^d = \frac{(320kg) \cdot (0.9669m)}{2.13 m}$$

$$\mathbf{M^d = 145.26kg.}$$

#### *3.4.2.2 Masa en el eje posterior*

$$M^p = \frac{m.l_2}{B} \quad (3)$$

$$M^p = \frac{(320kg) \cdot (1.163m)}{2.13 m}$$

$$\mathbf{M^p = 174.72kg.}$$

*3.4.2.3 Cálculo de transferencia de masas, en el momento de una frenada.* Para determinar las fuerzas que actuaran en el chasis, se debe proceder al análisis de transferencia de masas, las cuales actuaran directamente en el chasis y la suspensión, obtenidos estos resultados anteriormente.

Cuando el vehículo se encuentre a una velocidad constante o estático la aceleración es nula y por lo tanto la distribución de pesos del monoplaza es constante, distribuidos en los puntos de anclaje de la suspensión, tanto en el eje delantero y posterior, en teoría se puede determinar el porcentaje de pesos para cada uno de los ejes en estático, a continuación, se explica los resultados a obtenerse:

$$\text{Peso en el eje delantero} = \frac{M^d}{P} * 100 = \frac{145.2kg}{320kg} * 100 = \mathbf{45.37\%}$$

$$\text{Peso en el eje posterior} = \frac{M^p}{P} * 100 = \frac{174.72kg}{320kg} * 100 = \mathbf{54.60\%}$$

Dónde:

- $M^d$  es la fuerza vertical en el eje delantero (peso soportado en el eje delantero).
- $M^p$  es la fuerza vertical en el eje posterior (peso soportado en el eje posterior).
- $P$  es la fuerza vertical total del monoplaza (peso del monoplaza).

Con los resultados obtenidos, verificamos que se cumple lo ideal en el reparto de pesos entre los dos ejes ( $45/55 \approx 50/50$ )

Cuando se produce una desaceleración en el vehículo, la fuerza efectiva en cada neumático se ve modificada, pero el peso del vehículo es el mismo, pero la fuerza ejercida en el eje delantero aumentará y al mismo tiempo la fuerza ejercida en el eje posterior disminuirá.

Para este análisis se toma la desaceleración  $1.6 \, m/s^2$ , pues es la desaceleración promedio que desarrolla un prototipo Fórmula SAE en la prueba de aceleración.

Se determina la transferencia de carga del eje posterior al eje delantero a continuación:

$$TP = \left(\frac{a_v}{g}\right) * \left(\frac{h}{L}\right) * P \quad (4)$$

$$TP = \left(\frac{\left(1.6 \frac{m}{s^2}\right) * \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right)}{9.8 \frac{m}{s^2}}\right) * \left(\frac{(0.2469 + 0.150)m}{2.13m}\right) * (320Kg) * \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$TP = 934.96 N$$

Dónde:

- TP es la transferencia de peso
- $a_v$  es la desaceleración.
- g es la gravedad.
- h es la altura del centro de masa al suelo (Figura 12-3, **0.2469m + radio del neumático 0.150m**).

Se determina la distribución exacta de las fuerzas ejercidas en cada uno de los ejes de la siguiente manera:

$$P = P + TP \quad (5)$$

$$P_{d,d} = P_d + TP = (145.2kg) * \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) + 934.96N = 2357.92N$$

$$P_{t,d} = P_t - TP = (174.72kg) * \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) - 934.96N = 777.29N$$

Dónde:

- $P_{d,d}$  es el peso en el eje delantero durante la desaceleración.
- $P_{t,d}$  es el peso en el eje posterior durante la desaceleración.

Comprobamos si el peso total es el mismo, de la siguiente forma:

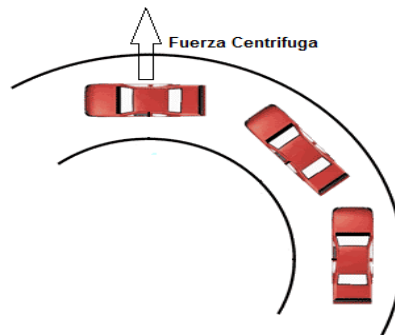
$$P = P_{d,d} + P_{t,d} \quad (6)$$

$$2357.92 + 777.29 = 3135.21$$

$$\frac{3135.21N}{9.8 \frac{m}{s^2}} = 320kg$$

Se determina la distribución exacta de las fuerzas ejercidas en cada uno de los ejes de la siguiente manera:

**3.4.2.4 Cálculo de fuerzas que actúan en una curva.** Se procede al análisis de la fuerza centrífuga que el prototipo va a soportar en una curva, tiene dos componentes rectangulares una en el eje (x) y en el eje (y), la componente en el eje (z) se anula, esta fuerza es perpendicular a la trayectoria que el vehículo se desplaza, la velocidad promedio que tienen estos prototipos es de 7m/s.



**Figura. 13-3** Fuerza centrífuga

Fuente: Autor

**Datos:**

$$v = 7 \frac{m}{s}$$

$$m = 320kg.$$

$$r = 6m.$$

$$F_{cf} = \frac{m \cdot v^2}{r} \tag{7}$$

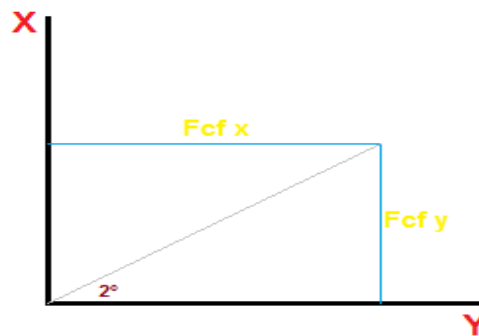
$$F_{cf} = \frac{320kg * (7 \frac{m}{s})^2}{6m} = 2613.33N.$$

Dónde:

- $F_{cf}$  = Fuerza centrífuga.
- $m$  = masa del vehículo
- $v$  = velocidad promedio del vehículo.
- $r$  = radio de curvatura.

### Cálculo de las componentes de la fuerza.

Los resultados de estas componentes sirven para las simulaciones dinámicas del vehículo, estos datos son ingresados en el software para su respectivo análisis del prototipo cuando este ingresa a una curva.



**Figura. 14-3** Componentes de la fuerza centrífuga

Fuente: Autor

$$F_{cfx} = F_{cf} * \cos 2^{\circ} \quad (8)$$

$$F_{cfx} = 2613.33N * \cos 2^{\circ}$$

$$F_{cfx} = 2611.73N$$

$$F_{cfy} = F_{cf} * \sin 2^{\circ} \quad (9)$$

$$F_{cfy} = 2613.33N * \sin 2^{\circ}$$

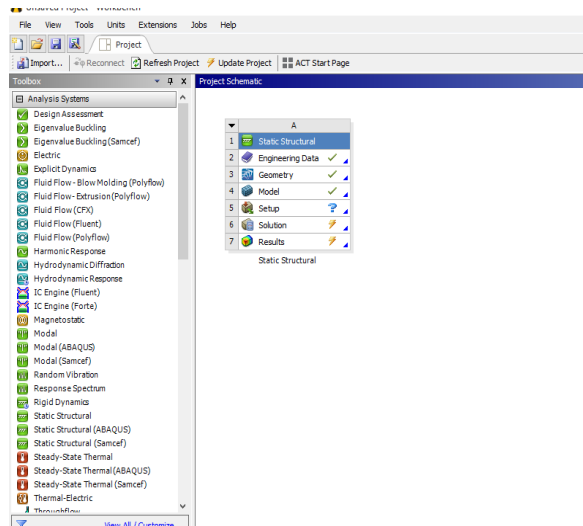
$$F_{cfy} = 91.20N$$

Para las componentes de la fuerza centrífuga se tomó un ángulo de  $2^\circ$  como la inclinación del prototipo al tomar una curva, es lo que el sistema de suspensión inclina al vehículo.

### 3.5 Simulación del chasis en software ANSYS

Para la simulación es necesario realizar distintos pasos como se observa a continuación.

- Con el chasis modelado en el software Solid Works, continuamente se realiza el análisis en el software ANSYS utilizando la herramienta de análisis estructural como se observa en la figura 15-3.

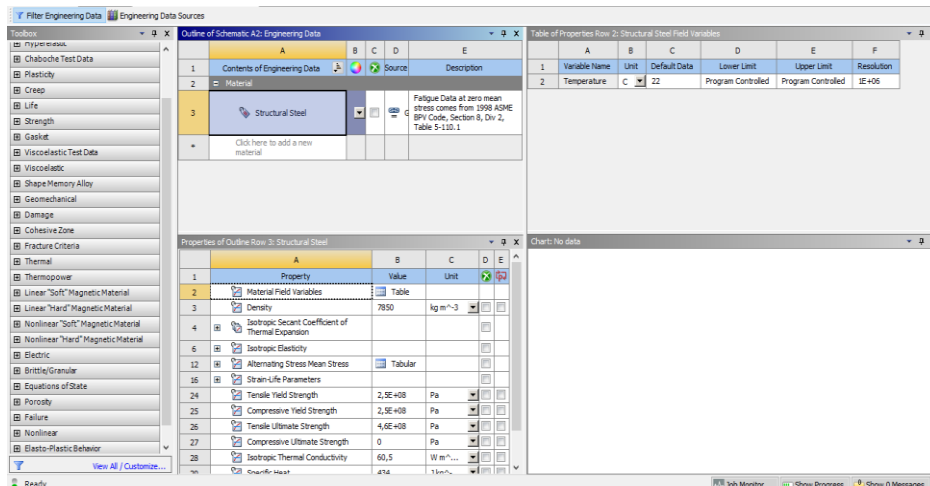


**Figura. 15-3** Selección del análisis estructural

Fuente: Autor

- Asignación del material que para nuestro caso es un acero estructural como expresa la figura 16-3



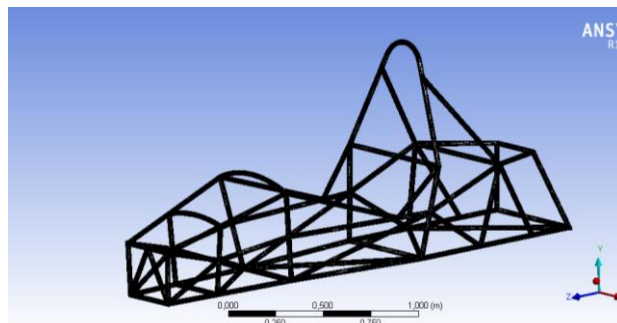


**Figura. 16-3** Selección del material en software ANSYS

**Fuente:** Autor

- Se procede a efectuar un mallado en la estructura para cumplir con la teoría de fallas, en esta parte del proceso el software realiza una inspección detallada de toda la estructura con el fin de determinar si existe alguna falla en el diseño del chasis que ocasione inconvenientes en la simulación.

•



**Figura. 17-3** Mallado del Modelo

**Fuente:** Autor

Este proceso puede tardar varios minutos y una vez concluido el proceso sin obtener ninguna falla en la estructura se da por terminado el proceso de mallado.

- Se colocan los puntos de apoyos fijos, estos irán ubicados en los puntos dónde estarán sujetas los sistemas de suspensión tanto en la parte delantera como en la parte posterior.
- Se realiza los cálculos requeridos.

**3.5.1 Análisis estático.** Es muy importante para determinar las deformaciones y esfuerzos máximos, así como también el factor de seguridad, este análisis se realiza con las fuerzas impuestas por la Fórmula SAE, a continuación, se detalla los resultados obtenidos en cada una las partes principales del chasis.

**3.5.1.1 Análisis en la mampara delantera.** Este análisis es muy importante porque en una situación de un choque frontal, esta absorberá el total de las fuerzas que se producen en ese momento, para realizar este análisis se debe considerar lo siguiente:

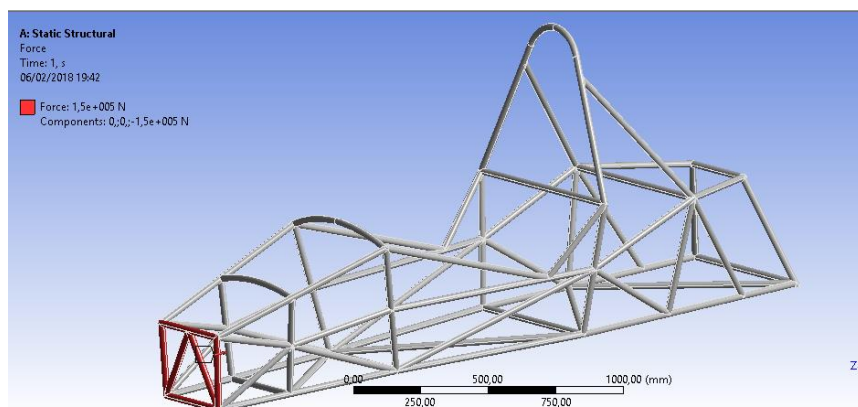
Se coloca las cargas en la mampara delantera, estas cargas son establecidas en el reglamento de la Fórmula SAE:

$$F_x = 150 \text{ kN.}$$

$$F_y = 0 \text{ kN.}$$

$$F_z = 0 \text{ kN.}$$

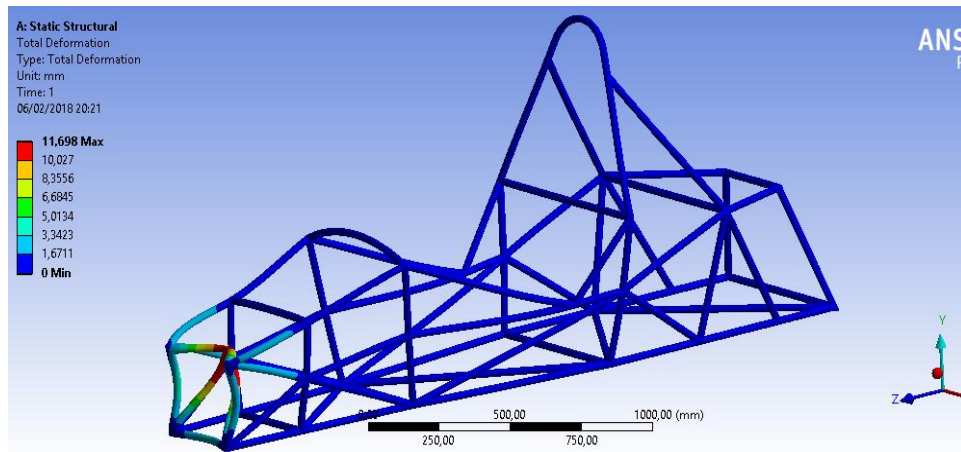
Se ingresa en el software ANSYS, la carga frontal de 150 kN, la cual debe ir distribuida en toda la mampara delantera como se ilustra en la Figura 18-3.



**Figura. 18-3** Asignación de la fuerza en la mampara delantera

**Fuente:** Autor

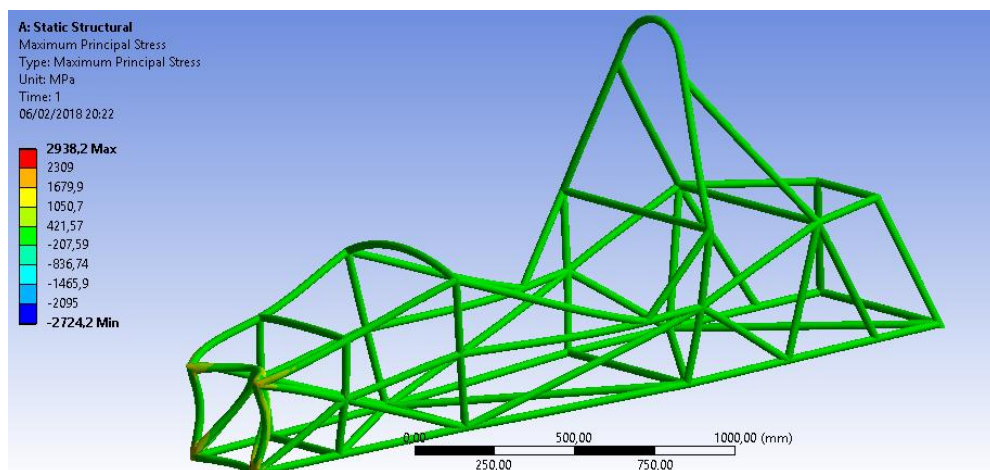
Al finalizar la simulación se obtiene valores de deformación máxima de 11.698 mm. cómo se indica en la figura 19-3



**Figura. 19-3** Deformación máxima de la mampara delantera

**Fuente:** Autor

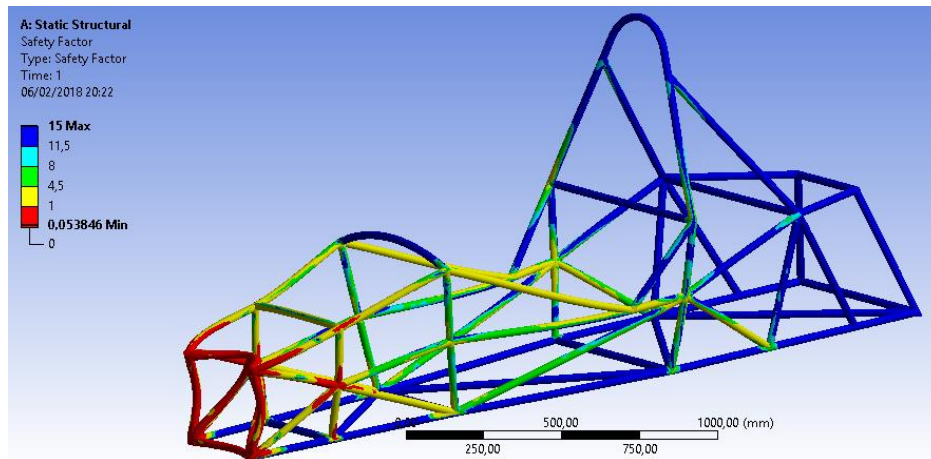
De igual manera se procede a analizar el esfuerzo máximo, el mismo que tiene un valor de 2938.2 MPa, como se observa en la figura 20-3



**Figura. 20-3** Esfuerzo Máximo de la mampara delantera

**Fuente:** Autor

Se obtiene un factor de seguridad bajo de 0.0538 como se aprecia en la figura 21-3



**Figura. 21-3** Factor de seguridad de la mampara delantera

Fuente: Autor

En la figura 22-3 se observa los datos tabulados del análisis de la mampara mediante el software ANSYS

#### ● List Result Summary

| Results                  | Minimum     | Maximum | Units             | Time (s) |
|--------------------------|-------------|---------|-------------------|----------|
| Total Deformation        | 0,          | 11,698  | mm                | 1,       |
| Maximum Principal Stress | -2724,2     | 2938,2  | MPa               | 1,       |
| Safety Factor            | 5,3846e-002 | 15,     | Units Unavailable | 1,       |

**Figura. 22-3** Resumen de resultados de la mampara delantera

Fuente: Autor

**3.5.1.2 Análisis en el arco frontal.** Es uno de los elementos más importantes del chasis luego de la mampara delantera, debido a que si se produce un impacto frontal todos los esfuerzos que se producen se transmiten al arco frontal, por lo cual el procedimiento para la simulación es similar a lo que se mencionó anteriormente, únicamente cambian los valores de cargas aplicadas, para este caso son:

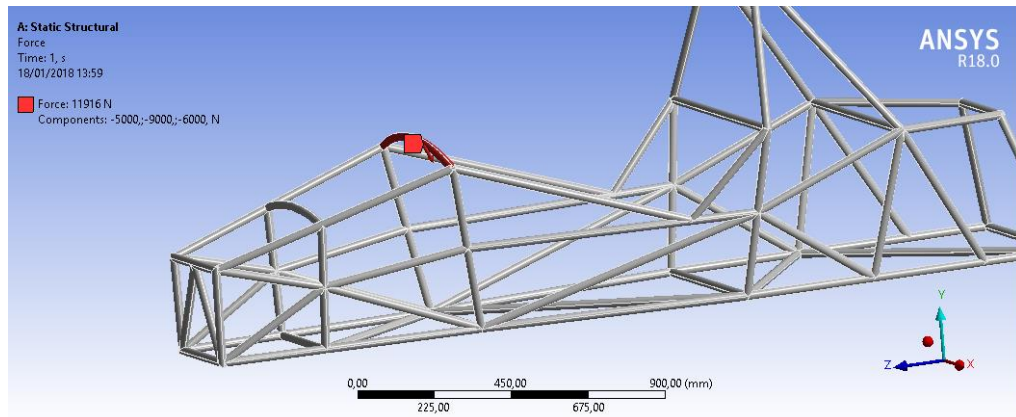
$$F_x = 6,0 \text{ kN.}$$

$$F_y = 5,0 \text{ kN.}$$

$$F_z = -9,0 \text{ kN.}$$

Las componentes de estas fuerzas son tomadas como referencia según el sistema de coordenadas de la Figura 11-2.

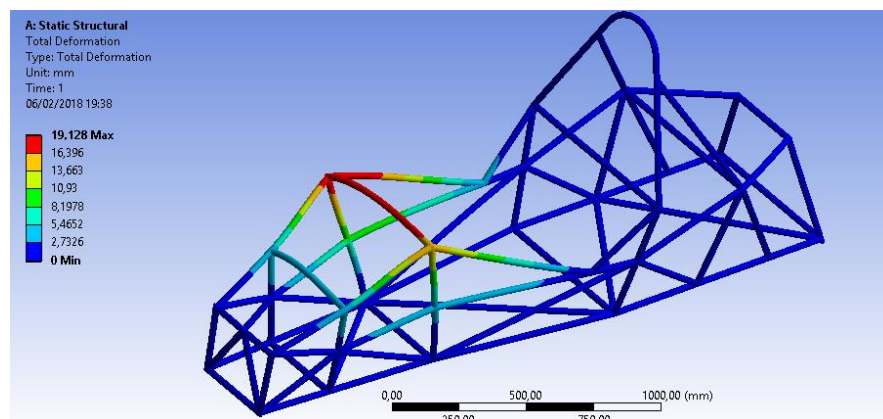
Se ingresa en el software ANSYS, las cargas en los tres ejes ya mencionados, la cual debe ir distribuida en el cuerpo que conforma el arco frontal como se ilustra en la Figura 23-3, esta carga se ingresa para las dos opciones del chasis.



**Figura. 23-3** Análisis del arco frontal

Fuente: Autor

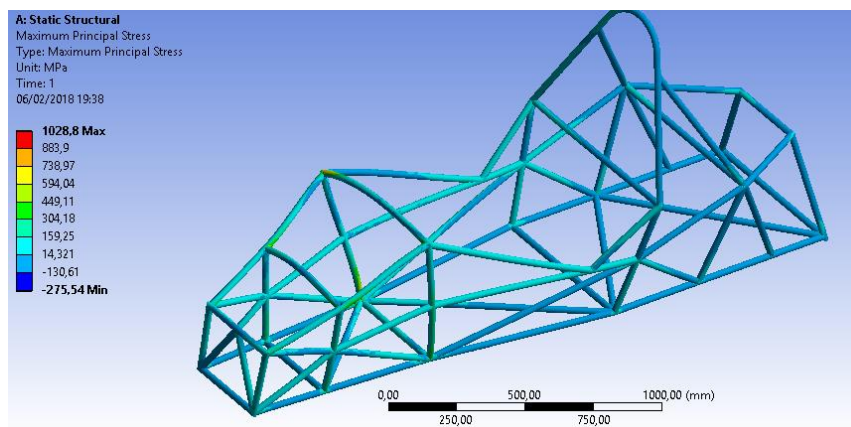
Al realizar el análisis se obtiene un dato de deformación máxima 19.12 mm como se observa en la figura 24-3



**Figura. 24-3** Deformación máxima del arco frontal

Fuente: Autor

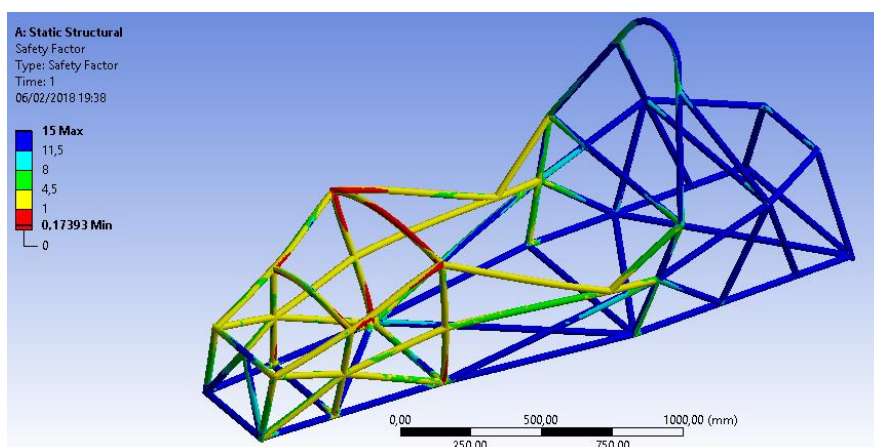
Se obtiene un valor de esfuerzo máximo de 1028.8 MPa como se aprecia en la figura 25-3



**Figura. 25-3** Esfuerzo máximo del arco frontal

Fuente: Autor

Se determina un factor de seguridad de 0.17 como indica la figura 26-3



**Figura. 26-3** Factor de seguridad del arco frontal

Fuente: Autor

Para una mejor apreciación de los datos obtenidos se ha tabulado los datos mediante software ANSYS como se observa en la figura 27-3

### ● List Result Summary

| Results                  | Minim... | Maximum | Units             | Time (s) |
|--------------------------|----------|---------|-------------------|----------|
| Total Deformation        | 0,       | 19,128  | mm                | 1,       |
| Maximum Principal Stress | -275,54  | 1028,8  | MPa               | 1,       |
| Safety Factor            | 0,17393  | 15,     | Units Unavailable | 1,       |

**Figura. 27-3** Resumen de resultados del arco frontal

Fuente: Autor



**3.5.1.3 Análisis en el arco principal.** El análisis de este elemento es muy importante ya que protege la cabeza del piloto y así evitar lesiones cuando se produzca un accidente.

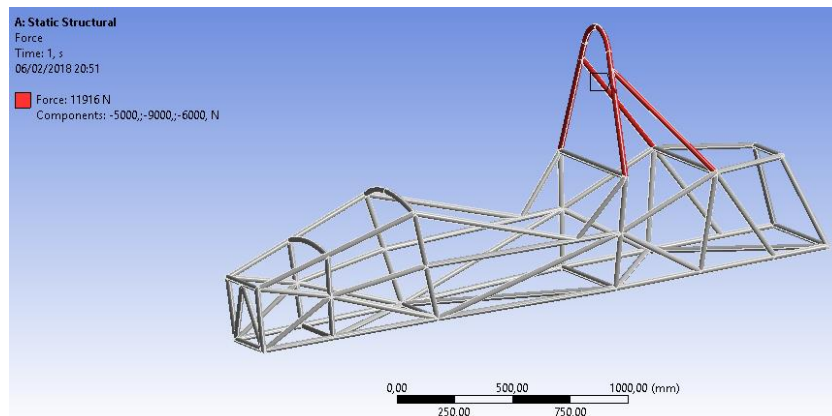
Los pasos para realizar el análisis del arco principal son similares a los anteriores, pero varían en los valores de las cargas aplicadas que son los siguientes:

$$F_x = 6,0 \text{ kN.}$$

$$F_y = 5,0 \text{ kN.}$$

$$F_z = -9,0 \text{ kN.}$$

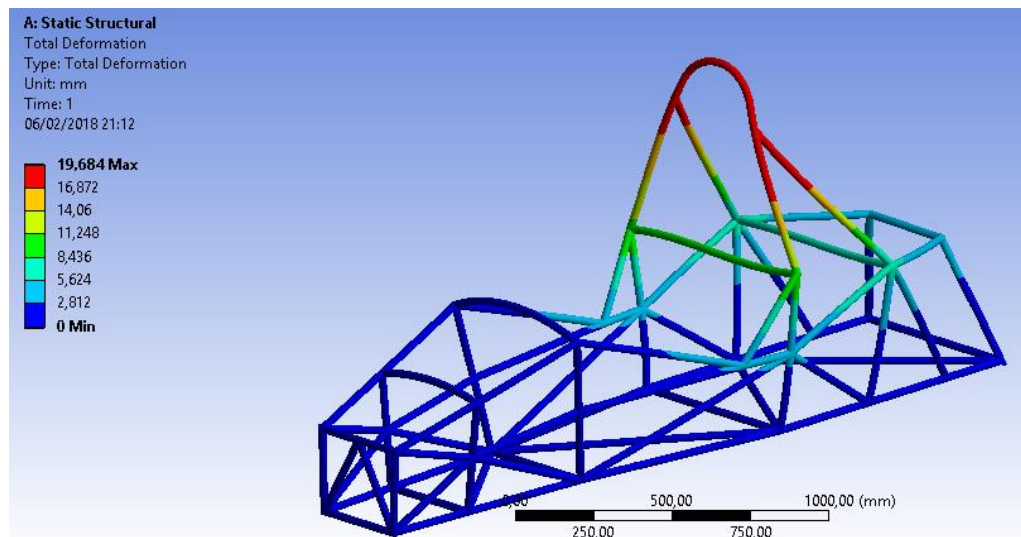
Se ingresa en el software ANSYS, las cargas en los tres ejes ya mencionados, la cual debe ir distribuida en el cuerpo que conforma el arco principal y respectivos soportes como se ilustra en la Figura 28-3, esta carga se ingresa para las dos opciones del chasis.



**Figura. 28-3** Análisis de arco principal

**Fuente:** Autor

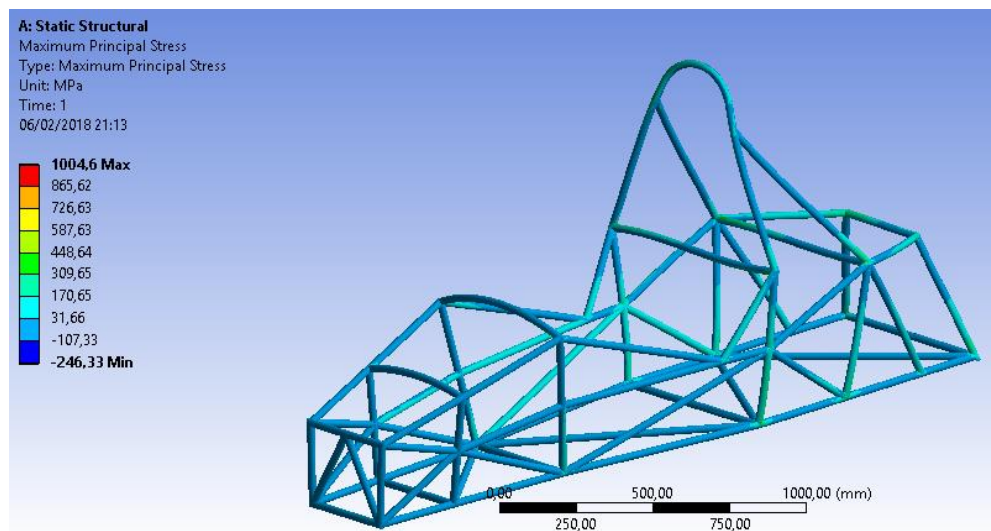
Al realizar la simulación se obtiene un dato de deformación máxima de 19.68 mm como se parecía en la figura 29-3



**Figura. 29-3** Deformación máxima del arco principal

Fuente: Autor

Se determina un valor de esfuerzo máximo de 1004.6 MPa como indica la figura 30-3

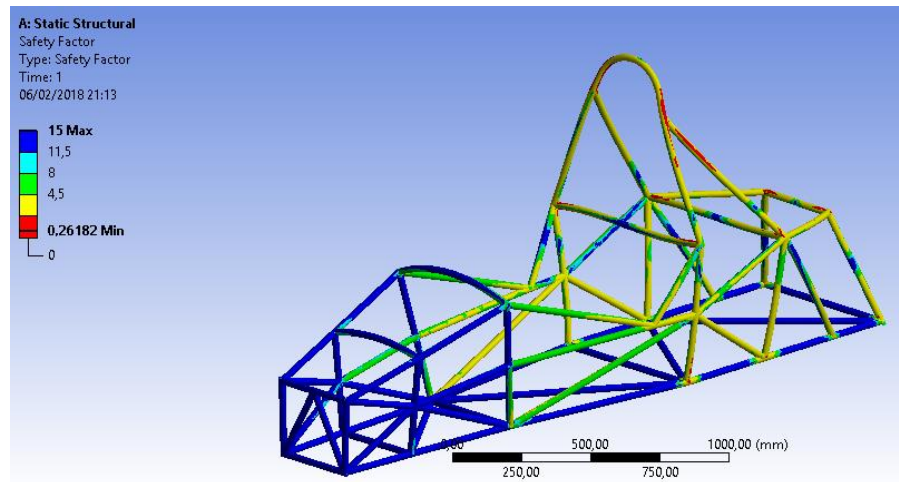


**Figura. 30-3** Esfuerzo máximo del arco principal

Fuente: Autor

En la figura 31-3 se observa un factor de seguridad de 0.26





**Figura. 31-3** Factor de seguridad del arco principal

Fuente: Autor

Para un mejor entendimiento se tabula los datos obtenidos con software ANSYS como se observa en la figura 32-3

#### ● List Result Summary

| Results                  | Minim... | Maximum | Units             | Time (s) |
|--------------------------|----------|---------|-------------------|----------|
| Total Deformation        | 0,       | 19,684  | mm                | 1,       |
| Maximum Principal Stress | -246,33  | 1004,6  | MPa               | 1,       |
| Safety Factor            | 0,26182  | 15,     | Units Unavailable | 1,       |

**Figura. 32-3** Resumen de resultados del arco principal

Fuente: Autor

**3.5.1.4 Análisis en la protección lateral.** La protección lateral tiene como finalidad proteger la integridad física del piloto, en una colisión lateral con otro vehículo o por volcamiento.

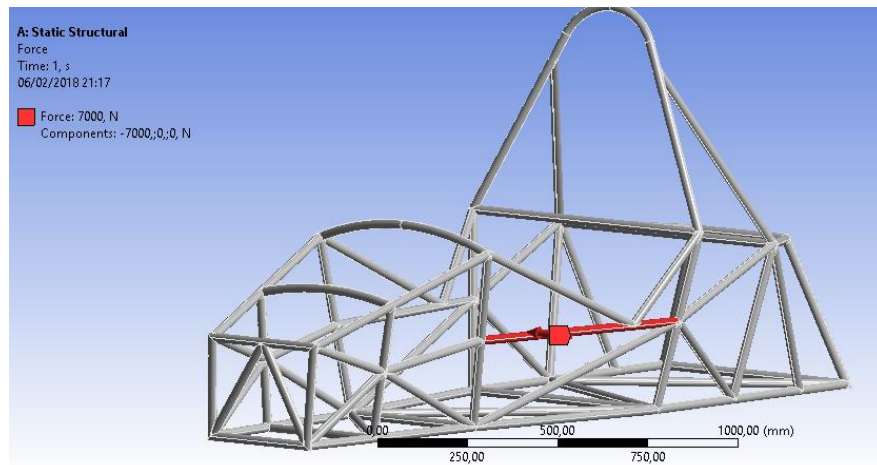
Para realizar este análisis se requiere ingresar las siguientes cargas:

$F_x = 0 \text{ kN}$  .

$F_y = 7 \text{ kN}$ .

$F_z = 0 \text{ kN}$ .

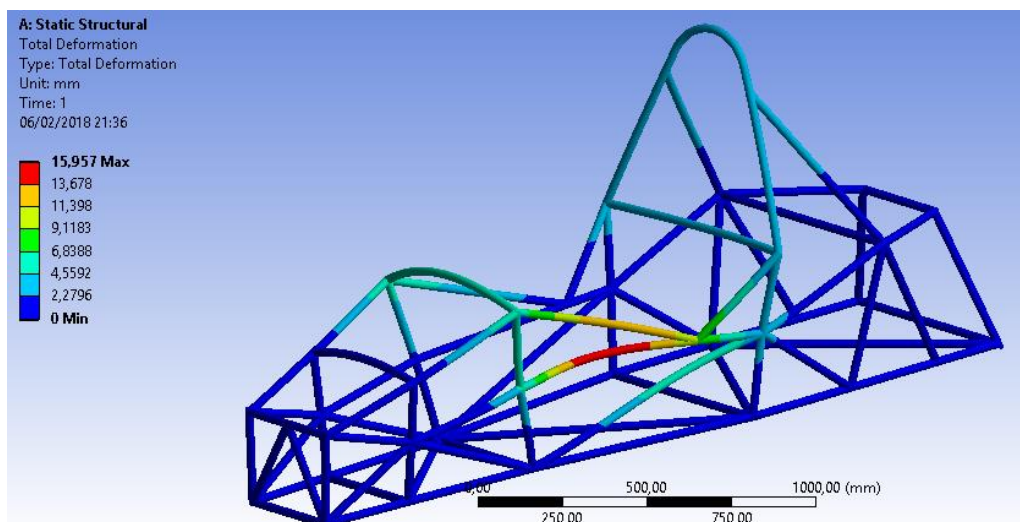
Se ingresa en el software ANSYS, la carga para el eje Y, la cual debe ir distribuida en el cuerpo que conforma la protección lateral como se ilustra en la Figura 33-3.



**Figura. 33-3** Análisis de la protección lateral

**Fuente:** Autor

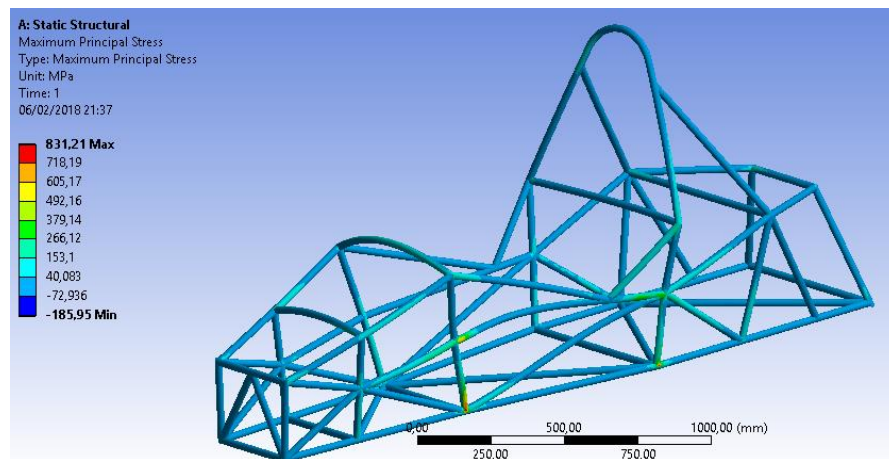
Se determina mediante simulación la deformación máxima obteniendo un valor de 15.97 mm. como se observa en la figura 34-3



**Figura. 34-3** Deformación máxima de la protección lateral

**Fuente:** Autor

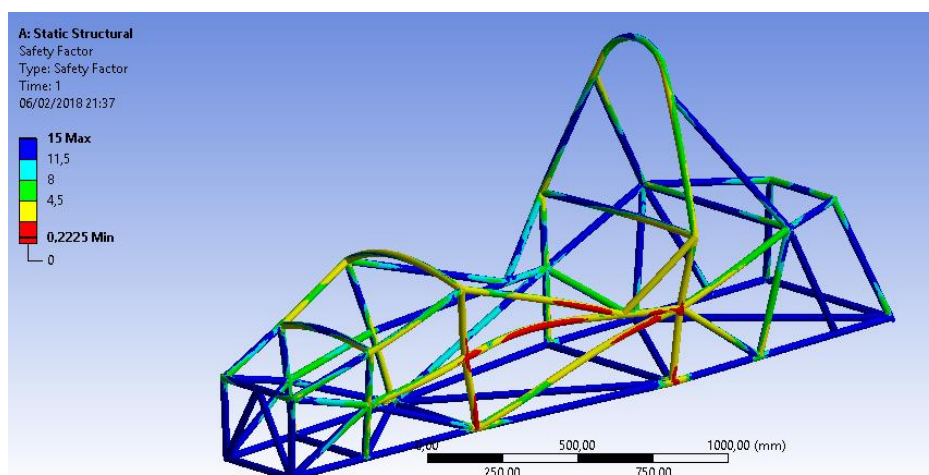
De igual manera se obtiene un valor para el esfuerzo máximo de 831.21 MPa como se evidencia en la figura 35-3



**Figura. 35-3** Esfuerzo máximo de la protección lateral

**Fuente:** Autor

Finalizado el análisis se obtiene un factor de seguridad de 0.22 como se observa en la figura 36-3



**Figura. 36-3** factor de seguridad de la protección lateral

**Fuente:** Autor

Para una mejor comprensión con la ayuda de ANSYS se tabula los datos obtenidos como se observa en la figura 37-3

#### ● List Result Summary

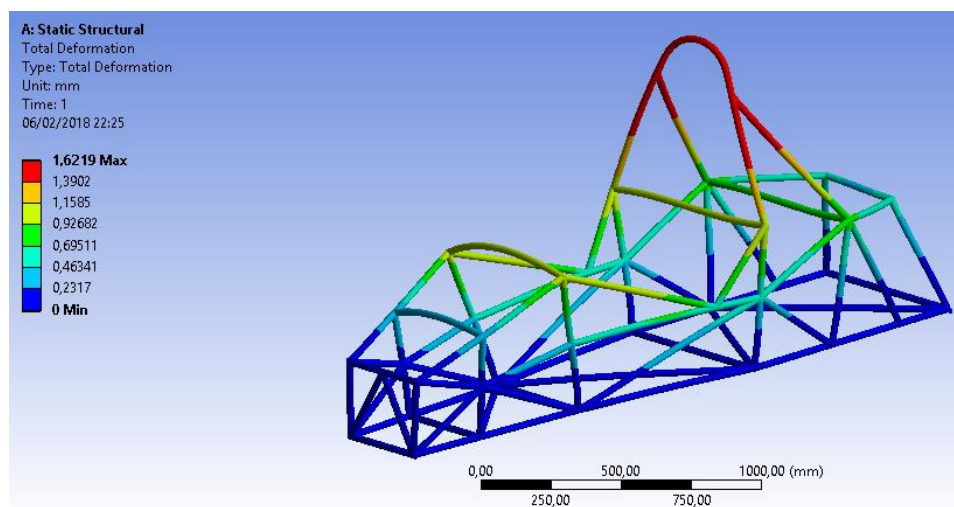
| Results                  | Minim... | Maximum | Units             | Time (s) |
|--------------------------|----------|---------|-------------------|----------|
| Total Deformation        | 0,       | 15,957  | mm                | 1,       |
| Maximum Principal Stress | -185,95  | 831,21  | MPa               | 1,       |
| Safety Factor            | 0,2225   | 15,     | Units Unavailable | 1,       |

**Figura. 37-3** Resumen de resultados de la protección lateral

**Fuente:** Autor

*3.5.1.5 Análisis de la fuerza centrífuga.* Los valores encontrados anteriormente de fuerza centrífuga se ingresan en el software con el fin de analizar la influencia que existe en el prototipo SAE.

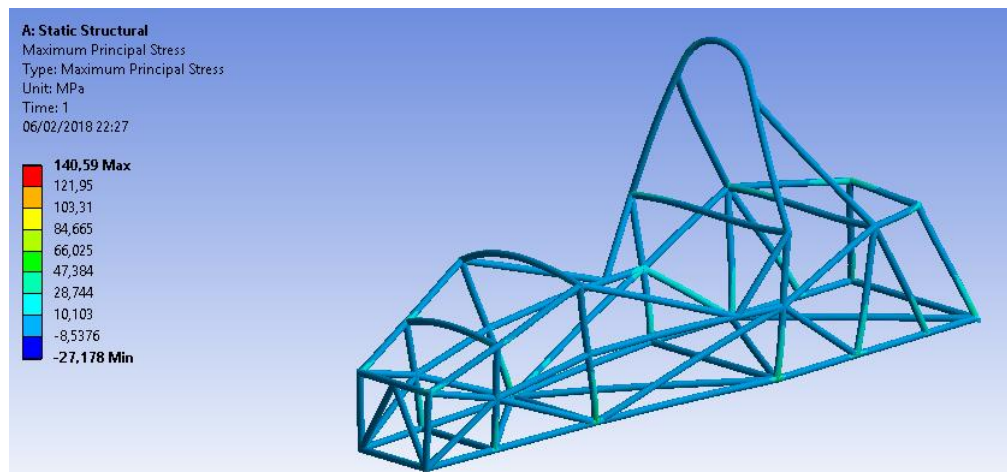
Se determina una deformación máxima de 1.62 mm, a lo largo de la parte del piloto, debido a que, en el momento de ingresar a una curva, la gran parte del peso del chasis se encuentra en la parte posterior y este lo transfiere a la parte delantera, la deformación obtenida en el análisis como se lo aprecia en la Figura 38-3 está dentro de lo establecido por el reglamento de la SAE.



**Figura. 38-3** Análisis de la fuerza centrífuga

**Fuente:** Autor

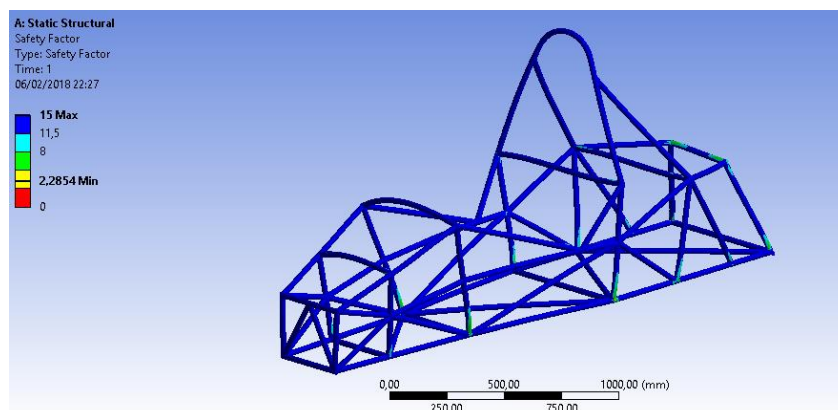
El esfuerzo máximo obtenido es de 140.59 MPa como se indica en la figura 39-3, este valor es inferior al límite de fluencia del material empleado en la construcción.



**Figura. 39-3** Momento máximo debido a la fuerza centrífuga

Fuente: Autor

Se evidencia en la figura 40-3 que el factor de seguridad es de 2.28 por lo que se puede decir que el diseño garantiza la protección al piloto y por ende no fallara la estructura.



**Figura. 40-3** Factor de seguridad de la fuerza centrífuga

Fuente: Autor

Para una mejor observación de los valores se ha tabulado mediante el software ANSYS como se evidencia en la figura 41-3

### ● List Result Summary

| Results                  | Minim... | Maximum | Units             | Time (s) |
|--------------------------|----------|---------|-------------------|----------|
| Total Deformation        | 0,       | 1,6219  | mm                | 1,       |
| Maximum Principal Stress | -27,178  | 140,59  | MPa               | 1,       |
| Safety Factor            | 2,2854   | 15,     | Units Unavailable | 1,       |

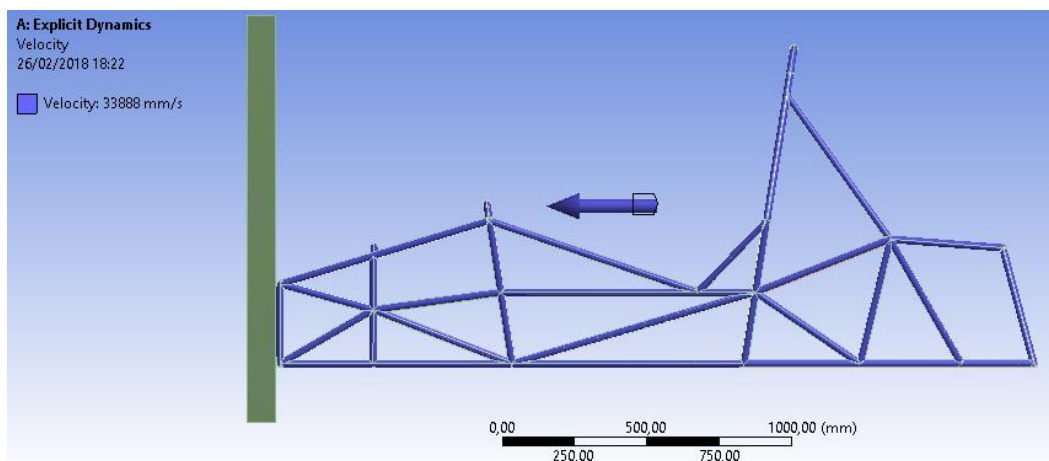
**Figura. 41-3** Resumen de resultados del análisis de la fuerza centrífuga

Fuente: Autor

**3.5.2 Análisis dinámico.** Con la ayuda de software ANSYS para determinar la deformación y el esfuerzo máximo en el momento de un impacto, el factor de seguridad no se calcula porque es un análisis no lineal el cual significa que se va a deformar, encontrándose en la zona plástica.

**3.5.2.1 Análisis de impacto frontal.** Este análisis es muy importante ya que se aprecia la deformación máxima, el esfuerzo máximo que sufrirá el chasis.

Este análisis se realiza con dos velocidades, la primera se toma una velocidad promedio de 50 km/h (ver figura 42-3) ya que es común en los vehículos de competición y posteriormente se analiza con una velocidad extrema de 150km/h (ver figura 45-3), a continuación, se detalla los resultados obtenidos:

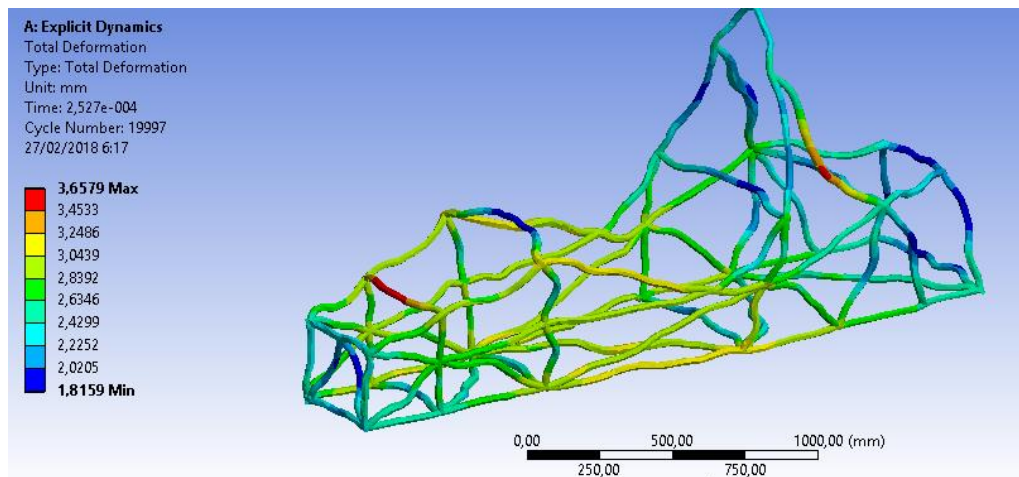


**Figura. 42-3** Análisis de impacto a 50Km/h

**Fuente:** Autor

Para una velocidad de 50 km/h se obtiene una deformación máxima de 3.65 mm a lo largo del chasis del piloto, debido a que, en la colisión, la gran parte del peso del chasis se encuentra en la parte posterior y este lo transfiere a la parte delantera, la mayor deformación se concentra en el arco principal como se lo observa en la (Figura 43-3).

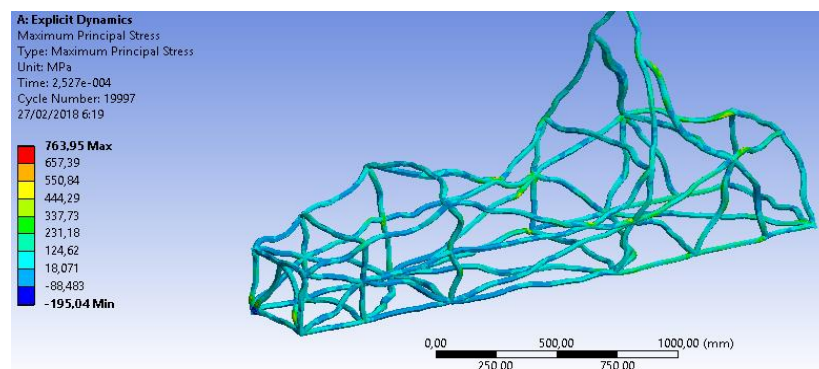




**Figura. 43-3** Deformación máxima de impacto a 50 Km/h

Fuente: Autor

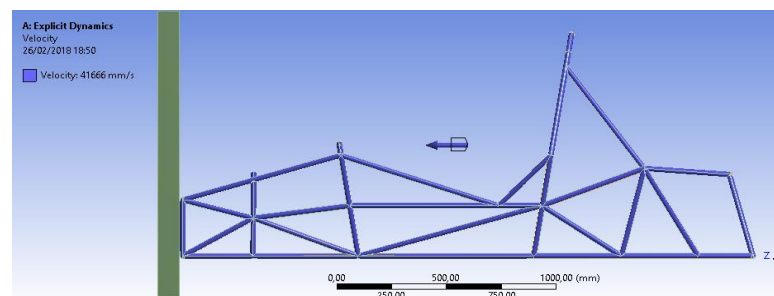
El esfuerzo máximo obtenido en el chasis es de 763.95 MPa (Figura 44-3), este valor sobrepasa el límite de fluencia del material empleado, concluyendo que en un accidente el chasis pasa de una zona elástica a una zona plástica.



**Figura. 44-3** Esfuerzo máximo de impacto a 50 Km/h

Fuente: Autor

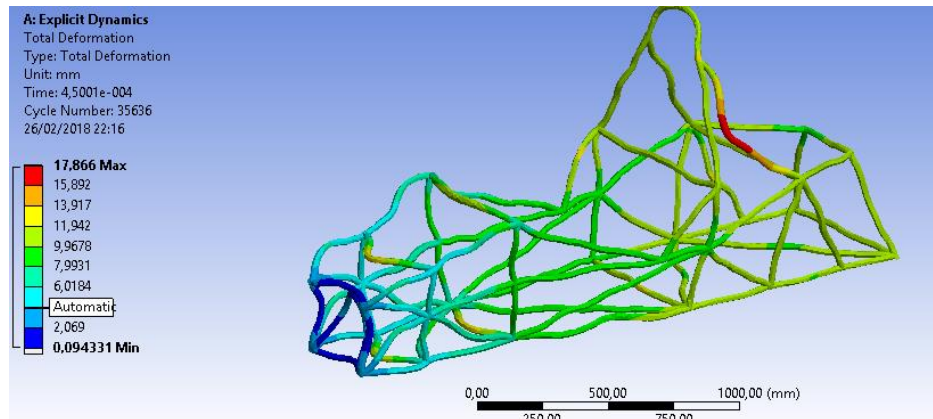
Se procede a realizar el análisis de impacto frontal para una velocidad máxima de 150 Km/h como se observa en la figura 45-3



**Figura. 45-3** Análisis de impacto a 150Km/h

Fuente: Autor

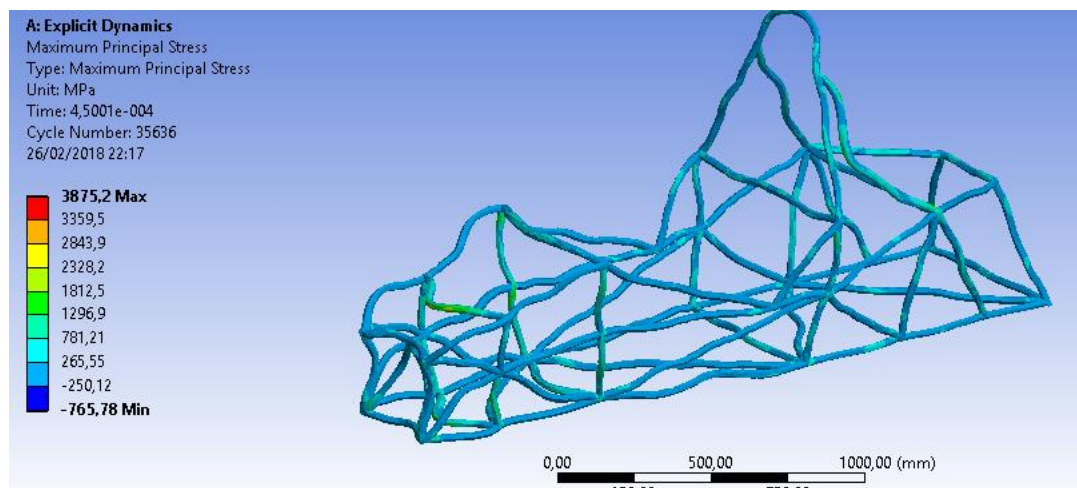
Para una velocidad de 150 km/h se obtiene una deformación máxima de 17.86 mm a lo largo del chasis del piloto, debido a que, en la colisión, la gran parte del peso del chasis se encuentra en la parte posterior y este lo transfiere a la parte delantera, la mayor deformación se concentra en el arco principal como se lo observa en la (Figura 46-3).



**Figura. 46-3** Deformación máxima de impacto a 50 Km/h

Fuente: Autor

El esfuerzo máximo obtenido en el chasis es de 3875.2 MPa (Figura 47-3), este valor sobrepasa el límite de fluencia del material empleado, concluyendo que en un accidente el chasis pasa de una zona elástica a una zona plástica.



**Figura. 47-3** Momento máximo de impacto a 150 Km/h

Fuente: Autor



## CAPITULO IV

### 4. CONSTRUCCION DE CHASIS

Analizado los parámetros del reglamento de la Fórmula SAE, sobre criterios de espacios, y simulaciones de cargas, en todos estos aspectos se obtuvo un resultado confiable, por lo que es aceptable la construcción del chasis

La construcción del chasis es realizada con tubos ASTM A500 para los perfiles circulares y acero ASTM A500 para perfil cuadrado.

Para iniciar con la ayuda del modelado se imprime planos con las respectivas cotas del chasis con la finalidad de facilitar el entendimiento de la forma que posee el chasis.

**4.1 Arcos de seguridad.** Para comenzar con la construcción se considera en primer plano las seguridades del chasis como son, el arco principal y el arco frontal. El material utilizado es acero ASTM A500 de 25.4 mm x 2.5 mm.

Con la ayuda de los planos, se realiza los cortes de los elementos que conforman el arco frontal, su base de 420 mm, los miembros verticales de 530 mm cada uno, los cuales conforman un ángulo de  $98.53^\circ$  con respecto a la horizontal, se cortó una longitud de 800 mm. para la parte superior la cual requiere una curva con un radio de  $670^\circ$ , el curvado del tubo se lo realiza en frío; a todos posteriormente realizando los respectivos biselados con la ayuda de la escuadra falsa.



**Figura 1-4** Arco frontal

**Fuente:** Autor

El reglamento de la Fórmula SAE establece que el arco principal debe ser construido de una sola pieza sin cortes.

El corte que se realizó es de 1800 mm con un exceso de 200 mm como medida preventiva por si, al doblarlo se alteren las medidas iniciales, para luego realizar una curva mediante el método de doblado en frío con un radio de 163 mm.

Los elementos verticales de 530 mm cada uno, se abren a un ángulo de  $97.96^\circ$  con respecto a la horizontal. La longitud para el corte del tubo central entre la base y el arco principal es de 740 mm.

A todos los cortes se les realiza los respectivos biselados en los extremos con los sus ángulos denotados en los planos con la ayuda de la escuadra falsa.



**Figura 2-4** Arco principal

Fuente: Autor

**4.2 Mampara delantera.** Con el plano de la mampara delantera o protección de impacto frontal se procede a la manufacturación, el material utilizado es un perfil cuadrado de acero ASTM A500 de 25.4 mm x 1.5 mm.



**Figura 3-4** Mampara delantera

Fuente: Autor

La configuración para el diseño es de una V invertida (Figura 3-4) con la finalidad de aportar mayor resistencia y protección a los pies del piloto, el miembro superior es de 357 mm con ángulo de biselado de  $43^\circ$  medido desde el interior de la pieza, el miembro

inferior es de 335 mm con biseles medidos desde el interior de la pieza a  $47^\circ$  y los miembros laterales son de 301 mm cada uno.

Para una unión precisa se tomó los ángulos exactos de los planos de guía con la ayuda de la escuadra falsa. Los dos elementos interiores que conforman la mampara delantera tienen una medida de 280mm, con sus respectivos biseles.

Considerando mampara delantera el tercer pilar para la construcción del chasis, se realizan los cortes de la base que unirá el arco frontal con la mampara delantera, hay que tener en cuenta que el arco frontal no es vertical visto desde la vista lateral, se encuentra a  $9^\circ$  dirigidos hacia la parte frontal.

Con una base fija de perfiles de acero, se utiliza puntos de suelda SMAW para ubicar la mampara delantera a una distancia de 750 mm, se ubica la mampara delantera y se unen con tubos de acero ASTM A500 de 25.4 mm x 1.5 mm. Lo cual nos da la oportunidad para unir la parte superior o los tirantes de apoyo del arco frontal.

**4.3 Soportes de apoyo para arcos principal y frontal.** Una vez unidos los tres elementos considerados como pilares por la base del chasis, se empieza por colocar los soportes del arco frontal, estos van unidos a la mampara delantera. El material utilizado es sección de tubo de acero ASTM A500 de 25.4 mm x 2 mm.



**Figura 4-4.** Soporte del arco frontal

Fuente: Autor



**Figura 5-4.** Soporte del arco principal

Fuente: Autor

La suelda utilizada para la unión de todas sus partes es la suelda GMAW-MAG por sus grandes beneficios en comparación de otros métodos de soldadura, el principal a nivel de producción ya que el material de aporte se da de forma continua automáticamente por el equipo de soldadura.



**Figura 6-4.** Aplicación del proceso de soldadura GMAW

**Fuente:** Autor

Otra de las ventajas del proceso de soldadura GMAW-MAG es que se puede aplicar ya sea de forma horizontal o vertical con gran facilidad, esto es de gran ayuda ya que en las intersecciones se puede llegar mejor a las uniones, y siendo el material de aporte utilizado de 0.7mm. Además, la presentación de la soldadura es más limpia comparado con el proceso SMAW, y con menor cantidad de escombros.

Para un vehículo de competencia es indispensable que la estructura sea lo más rígida como sea posible sin dejar de tomar en cuenta que, para llegar a ser más rígida se necesitara más material estructural, lo cual sería un punto en desventaja al aumento de peso del chasis, las uniones deben estar perfectamente soldadas caso contrario poco a poco con vibraciones y esfuerzos sometidos, el chasis llegará a ser inservible.



**Figura 7-4.** Cordones de soldadura aplicados al chasis

Fuente: Autor

**4.4 Proceso de pintado.** El proceso de pintado del chasis tiene como función principal proteger al chasis de la corrosión del mismo.

Se debe verificar la superficie de los tubos que estén libres de grasa y salpicados de soldadura, posteriormente se comprueba que la soldadura esté perfectamente (Figura 8-4).



**Figura 8-4.** Verificación de la soldadura

Fuente: Autor

Posteriormente se procede a realizar la mezcla de dos litros de pintura solida de poliuretano, mezclada con un litro de catalizador y otro litro de diluyente, una vez realizada la mezcla se la aplica a toda la estructura del chasis, dejándola secar por 24 horas, dando un acabado perfecto y brillante (Figura 9-4).





**Figura 9-4.** Aplicación de pintura

Fuente: Autor

**4.5 Verificación de el buen funcionamiento del chasis.** El chasis con su rediseño se puede comprobar que:

Con una longitud de chasis de 2.60 m los cuales se distribuyó en 40 cm en la cabina del piloto y además con la construcción de un compartimiento para el motor (Ver figura 10-4) se asegura que el piloto se encontrara en condiciones ergonómicas perfecta.



**Figura 10-4** compartimiento de transmisión y motor

Fuente: Autor

Con la creación de un compartimiento para el motor se asegura un correcto posicionamiento de la transmisión como lo indica la figura 11-4.





**Figura 11-4** Correcto Posicionamiento de la transmisión

**Fuente:** Autor

Al reubicar la barra de la dirección se determina un correcto funcionamiento de los pedales que corresponden al frenado, aceleración y embrague como lo indica la figura 12-4.



**Figura 12-4** Posicionamiento de la barra de dirección

**Fuente:** Autor

## CAPÍTULO V

### 5. COSTOS

Para la elaboración del chasis se tomaron en cuenta las etapas de diseño y posteriormente la de construcción del mismo, la fase de construcción se consideró elemental para realizar el análisis de costos, sin dejar de lado la fase de diseño asistido por computador.

#### 5.1 Costos directos

Los costos directos se asocian a los gastos del proyecto de forma muy clara los cuales constan de costos en materia prima y costos de mano de obra.

El precio de los tubos, el proceso de corte y soldadura, así como la terminación y acabados, son los puntos a tomar en cuenta.

**Tabla 1-5** Lista de materiales y costos

| <b>Cantidad</b> | <b>Descripción</b>                                   | <b>Valor Unitario (USD)</b> | <b>Valor Total (USD)</b> |
|-----------------|--|-----------------------------|--------------------------|
| 1               | Alambre soldadora                                    | 40                          | 40                       |
| 2               | Discos de corte y desbaste                           | 10                          | 10                       |
| 1               | Pintura base   | 10                          | 10                       |
| 1               | Pintura poliuretano                                  | 35                          | 35                       |
| 1               | Tubo ASTM A500 d=1 plg x 2.5mm                       | 10                          | 10                       |
| 3               | Tubo ASTM A500 d=1plg x 2mm                          | 8                           | 24                       |
| 3               | Tubo ASTM A500 d=1plg x 1.5mm                        | 7                           | 21                       |
| 1               | Tubo ASTM A500 (25,4 x 25,4 x 2) mm, perfil cuadrado | 8                           | 8                        |
| <b>Total</b>    |  |                             | <b>158</b>               |

Fuente: Autores

A continuación, se detallan la lista de costos por hora de utilización de equipos.

**Tabla 2- 5** Lista de equipos a utilizar y costos

| <b>Descripción</b> | <b>Costo por hora<br/>(USD)</b> | <b>Hora-equipos</b> | <b>Valor<br/>(USD)</b> |
|--------------------|---------------------------------|---------------------|------------------------|
| Compresor          | 1.00                            | 10                  | 10                     |
| Dobladora de tubos | 18.00                           | 3                   | 54                     |
| Herramienta menor  | 0.20                            | 60                  | 12                     |
| Amoladora          | 0.50                            | 60                  | 30                     |
| Soldadora mig/mag  | 2.00                            | 24                  | 48                     |
| <b>TOTAL</b>       |                                 |                     | <b>154</b>             |

Fuente: Autor

Los costos de mano de obra se dan por el proceso de soldadura y la preparación de cortes en los tubos:

**Tabla 3-5** Costo de mano de obra

| <b>Descripción</b>    | <b>Salario real<br/>hora</b> | <b>Hora-hombre</b> | <b>Valor<br/>(USD)</b> |
|-----------------------|------------------------------|--------------------|------------------------|
| Soldador              | 10.00                        | 24                 | 240                    |
| Biselado de<br>piezas | 3.00                         | 10                 | 30                     |
| Maestro               | 3.50                         | 60                 | 210                    |
| Ayudante              | 2.00                         | 60                 | 120                    |
| <b>Total</b>          |                              |                    | <b>600</b>             |

Fuente: Autores

El transporte de materiales y en consecuencia del proyecto completo se lo detalla a continuación:

**Tabla 4-5.** Costo de transporte de materiales

| <b>Descripción</b>                                   | <b>Valor (USD)</b> |
|--|--------------------|
| Alambre soldadora                                    | 5                  |
| Discos de corte y desbaste                           | 5                  |
| Pintura base   | 5                  |
| Pintura poliuretano                                  | 5                  |
| Tubo astm a500 d=1 plg x 2.5mm                       | 5                  |
| Tubo astm a500 d=1plg x 2mm                          | 5                  |
| Tubo astm a500 d=1plg x 1.5mm                        | 5                  |
| Tubo astm a500 (25,4 x 25,4 x 2) mm, perfil cuadrado | 5                  |
| <b>Total</b>   | <b>40</b>          |

Fuente: Autores

## 5.2 Costos indirectos

Los costos indirectos no intervienen directamente en la fabricación del chasis, pero hay que tenerlos en cuenta en el desarrollo del mismo.

**Tabla 5-5** Costos indirectos

| Descripción                 | Valor (USD)  |
|-----------------------------|--------------|
| 20% de costos directos      | \$190        |
| Documentación y descripción | \$500        |
| <b>Total</b>                | <b>\$842</b> |

Fuente: Autores

## 5.3 Costos totales

**Tabla 6-5** Costo totales

| Costos directos        |                              |      |
|------------------------|------------------------------|------|
|                        | Materiales                   | 158  |
|                        | Equipos                      | 154  |
|                        | Mano de obra                 | 600  |
|                        | Transporte                   | 40   |
| Total costos directos: |                              | 952  |
| Costos indirectos      |                              |      |
|                        | 20% de costos directos       | 190  |
|                        | Documentación y descripción. | 500  |
| Total costos (USD):    |                              | 1642 |

Fuente: Autores

## **CAPÍTULO VI**

### **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

Se rediseñó y construyó un chasis respetando el reglamento de la Fórmula SAE 2017-2018, como son espacios, seguridades y cargas aplicadas al chasis.

Con el aumento de la longitud del chasis se determina una posición ergonómica correcta para el piloto.

Al aplicar las fuerzas establecidas por el reglamento SAE en las distintas partes del chasis se obtiene una deformación máxima de la mampara delantera con un valor de 11.68mm, el arco frontal una deformación de 19.12 mm, el arco principal con 19.68 mm y la protección lateral con un valor de 15.95 mm, como los valores son inferiores a 25 mm que establece el Reglamento SAE el rediseño del chasis se da por aprobado.

Se realiza el análisis dinámico donde se somete el chasis a un impacto con una velocidad promedio de 50 Km/h donde se obtiene una deformación de 3.65 mm, por lo que podemos evidenciar que es inferior a 25 mm estableciendo que el rediseño del chasis es aprobado.

El chasis es analizado dinámicamente a una velocidad máxima de 150 Km/h y se obtiene una deformación máxima de 17.86 mm, lo cual se evidencia que es inferior a los 25 mm que establece el reglamento, determinando que en caso de una colisión a velocidad extrema el chasis se encuentra correctamente rediseñado.

El seleccionamiento del material ASTM A500 es correcto, ya que en los análisis dinámicos y estáticos el chasis cumple con los requerimientos del Reglamento SAE.

Con el Rediseño del chasis se asevera que el posicionamiento de la transmisión, pedales de frenado, aceleración y embrague se encuentran en una posición correcta para el buen funcionamiento.

## **6.2 Recomendaciones**

Para la construcción del chasis tomar en cuenta las exigencias del Reglamento de Fórmula SAE 2018-2018.

La fabricación del prototipo se debe realizar con todos los equipos de seguridad e higiene personal.

Los cordones de soldadura deben ser continuos y perfectos no deben presentar rebabas ni discontinuidades con la finalidad de asegurar el buen funcionamiento de la estructura.

Respetar los planos establecidos para la construcción del prototipo para evitar fallas posteriores

## BIBLIOGRAFÍA

**DIPAC.** Productos de acero . [En línea] 2018. [www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com).

**Esquivel, Ricardo..** Procesos de soldadura . *Procesos de soldadura*. 4 de Enero de 2017.

*Fundamentos para el uso de simulaciones en la enseñanza.* **Cataldi, Zulma, Lage, Fernando J y Dominighini, Claudio..** Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales. 2013,

**Gonzalez, Asdrubal.** *Fundamentos teóricos de las soldadura Gmaw y Smaw*. 2017, Academia.

**Leão, Lucas..** Ingeniería Eléctrica Moderna. [En línea] 23 de Mayo de 2016. <http://www.cim-team.com.br/blog-de-engenharia-eletrica-moderna/cad-vs-cae-vs-cam-diferencias>.

**Mecanica y automocion.** Mecanica y automocion. [En línea] 2 de Febrero de 2009. <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/el-sistema-de-transmision.html>.

**Oscar.G.** Ingeniería del automóvil. [En línea] 12 de Diciembre de 2009. <https://motorycompeticion.wordpress.com/descargas/>.

**LLANO, Carolina.** *Proceso de soldadura MIG-MAG*. Colombia : METAL ACTUAL, 2008.

*Reglamento Fórmula SAE*. 11 de Abril de 2017.

**SAE, INTERNATIONAL.** Formula SAE Rules 2014. *Formula SAE Rules 2014*. [En línea] Enero de 2014. [Citado el: 26 de Julio de 2014.] [http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2014\\_fsae\\_rules.pdf](http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2014_fsae_rules.pdf)



